

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Раздел 1. Электрическая сварка плавлением и дуговая резка	7
<i>Глава 1. Классификация и сущность дуговой сварки</i>	<i>7</i>
<i>Глава 2. Электрическая сварочная дуга</i>	<i>8</i>
§ 1. Основные понятия	8
§ 2. Тепловые свойства сварочной дуги	13
§ 3. Плавление и перенос металла в дуге	14
<i>Глава 3. Источники питания сварочной дуги</i>	<i>16</i>
§ 4. Основные требования	16
§ 5. Сварочные преобразователи	17
§ 6. Сварочные аппараты переменного тока	24
§ 7. Сварочные выпрямители	31
§ 8. Монтаж и обслуживание сварочного оборудования	32
<i>Глава 4. Металлургические процессы при сварке</i>	<i>38</i>
§ 9. Понятие о свариваемости	38
§ 10. Основные реакции в зоне сварки	
§ 11. Кристаллизация металла сварочной ванны	42
<i>Глава 5. Сварочная проволока и электроды</i>	<i>44</i>
§ 12. Сварочная проволока	44
§ 13. Металлические электроды	47
<i>Глава 6. Технология ручной дуговой сварки</i>	<i>51</i>
§ 14. Сварные соединения и швы	51
§ 15. Выбор режима сварки и техника выполнения швов	53
§ 16. Высокопроизводительные способы сварки	57
§ 17. Деформации и напряжения при сварке	59
<i>Глава 7. Автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом</i>	<i>61</i>
§ 18. Сущность и преимущества	61
§ 19. Сварочные флюсы	
§ 20. Оборудование для сварки под флюсом	65
§ 21. Технология сварки	73
§ 22. Электрошлаковая сварка	77

<i>Глава 8. Сварка в защитном газе</i>	<i>79</i>
§ 23. Сущность и преимущества	79
§ 24. Защитные газы	80
§ 25. Оборудование для сварки в защитном газе	81
§ 26. Технология аргонодуговой сварки	85
§ 27. Технология дуговой сварки в углекислом газе	87
<i>Глава 9. Дуговая резка</i>	<i>89</i>
§ 28. Способы резки плавящимся электродом	89
§ 29. Способы резки неплавящимся электродом	89
Раздел II. Газовая сварка и кислородная резка	92
<i>Глава 10. Газовая сварка</i>	<i>92</i>
§ 30. Оборудование газосварочных постов	92
§ 31. Сварочные горелки	97
<i>Глава 11. Сварочное пламя</i>	<i>98</i>
§ 32. Газы для сварки и резки металлов	
§ 33. Сварочное пламя	100
<i>Глава 12. Технология газовой сварки</i>	<i>101</i>
§ 34. Техника выполнения газовой сварки	101
§ 35. Технология газовой сварки	103
<i>Глава 13. Кислородная резка</i>	<i>105</i>
§ 36. Сущность процесса кислородной резки	105
§ 37. Оборудование для кислородной резки	106
§ 38. Технология кислородной резки	107
Раздел III. Контактная сварка	111
<i>Глава 14. Технология контактной сварки</i>	<i>111</i>
§ 39. Сущность контактной сварки	111
§ 40. Стыковая контактная сварка	112
§ 41. Точечная контактная сварка	114
§ 42. Шовная контактная сварка	115
<i>Глава 15. Оборудование для контактной сварки</i>	<i>117</i>
§ 43. Машины для стыковой контактной сварки	117
§ 44. Машины для точечной контактной сварки	119
§ 45. Машины для шовной контактной сварки	122

Раздел IV. Особенности технологии сварки различных материалов. Наплавочные работы. Сварка трубопроводов	124
<i>Глава 16. Сварка легированных сталей</i>	<i>124</i>
§ 46. Свариваемость легированных сталей	124
§ 47. Сварка низколегированных сталей	125
§ 48. Сварка средне- и высоколегированных сталей	126
<i>Глава 17. Сварка цветных металлов и их сплавов</i>	<i>129</i>
§ 49. Особенности сварки цветных металлов и их сплавов	129
§ 50. Сварка меди и ее сплавов	129
§ 51. Сварка алюминия и его сплавов	132
<i>Глава 18. Сварка чугуна</i>	<i>134</i>
§ 52. Особенности сварки чугуна	134
§ 53. Горячая сварка чугуна	135
§ 54. Холодная сварка чугуна	137
<i>Глава 19. Наплавочные работы</i>	<i>140</i>
§ 55. Виды наплавочных работ	140
§ 56. Технология наплавки	142
<i>Глава 20. Сварка полимеров и пластмасс</i>	<i>143</i>
§ 57. Основные виды полимеров и пластмасс	143
§ 58. Способы сварки	145
<i>Глава 21. Сварка трубопроводов</i>	<i>148</i>
§ 59. Номенклатура и сортамент труб и фасонных частей	148
§ 60. Подготовка труб к сварке	149
§ 61. Способы и режимы сварки	150
Раздел V. Контроль качества сварки. Техника безопасности	155
<i>Глава 22. Контроль качества сварки</i>	<i>155</i>
§ 62. Основные дефекты сварных швов	155
§ 63. Виды контроля сварных соединений	156
<i>Глава 23. Техника безопасности</i>	<i>160</i>
§ 64. Основные положения техники безопасности при электрической сварке	160
§ 65. Техника безопасности при газовой сварке и кислородной резке	163
§ 66. Техника безопасности при контрольных испытаниях сварных швов	164
§ 67. Техника безопасности на строительном-монтажной площадке	165
Список литературы	166

ББК 30.616
Г 27
УДК 621.791

Рецензент — канд. техн. наук *К. В. Васильев* (Всесоюзный научно-исследовательский и конструкторский институт автогенного машиностроения)

Геворкян В. Г.

Г27 Основы сварочного дела: Учебник для строит. спец. техникумов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1985. — 168 с., ил.

45 к.

В учебнике даны основы технологии дуговой, электрошлаковой, контактной и газовой сварки, кислородной и электродуговой резки; особенности технологии сварки легированных сталей, цветных металлов и их сплавов, чугуна, пластмасс, а также способы и режимы сварки трубопроводов.

В 4-е издание внесены изменения, касающиеся оборудования и материалов, расширено описание машин контактной сварки; введена глава «Наплавочные работы».

Г $\frac{2704060000-110}{001(01)-85}$ 152—85

ББК 30.616
6П4.3

Явление электрического дугового разряда впервые было открыто в 1802 г. русским ученым, профессором Петербургской медико-хирургической академии В. В. Петровым. В своих трудах он не только описал явление электрической дуги, но и предсказал возможность использования теплоты, выделяемой дугой, для плавления металлов. Однако в то время это открытие не нашло практического применения из-за низкого уровня развития техники. Только спустя 80 лет, в 1882 г. талантливый русский изобретатель Н. Н. Бенардос разработал и предложил практический способ использования электрической дуги для сварки металлов. По этому способу сварка производилась электрической дугой, возбуждаемой между угольным электродом и изделием. Несколько позже, в 1888 г. русский инженер-изобретатель Н. Г. Славянов разработал способ сварки с помощью металлического электрода. Н. Н. Бенардос и Н. Г. Славянов разработали также основные положения и других методов сварки: с несколькими электродами, в защитных газах, контактной сварки. В царской России эти изобретения получили ограниченное практическое применение, а затем были почти забыты.

Великая Октябрьская социалистическая революция создала условия для мощного развития науки и техники. Возродилась и стала развиваться сварочная техника. В 1929 г. советский инженер - изобретатель Д. А. Дульчевский и разработал способ автоматической дуговой сварки под флюсом. С 1940 г. этот способ стал внедряться в промышленность и строительство. В этом большая заслуга Института электросварки им. Е. О. Патона Академии наук УССР*,

в котором были разработаны теория автоматической сварки, флюсы и автоматы для сварочных работ. Работа по широкому внедрению автоматической сварки в народное хозяйство продолжается и в настоящее время; институт имеет тесную связь с отраслями, в которых применяются сварочные работы.

Большое участие в дальнейшем развитии теории и технологии сварки принимают Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения (ЦНИИТмаш), Московское высшее техническое училище им. Н. Э. Баумана, Всесоюзный научно-исследовательский проектно-конструкторский и технологический институт электросварочного оборудования (ВНИИЭСО), Всесоюзный научно-исследовательский и конструкторский институт автогенного машиностроения (ВНИИавтогенмаш), Ленинградский политехнический институт им. Калинина, завод «Электрик», Уралмашзавод и ряд других организаций.

За годы первых пятилеток были проведены широкие мероприятия по созданию специализированных производственных организаций, научно-исследовательских институтов и лабораторий по сварке. В период Великой Отечественной войны сварка получила большое применение в военной технике, а в послевоенные годы — при восстановительных работах.

Июньский (1959 г.) Пленум ЦК КПСС в своих решениях подчеркнул важное значение сварки для дальнейшего развития промышленности и строительства. Июльский (1960 г.) Пленум ЦК КПСС снова отметил необходимость ускоренного развития сварочного производства, заслушал доклад директора Института электросварки им. Е. О. Патона академика Б. Е. Патона. Пленум поставил большие задачи перед учеными и

* Институт электросварки им. Е. О. Патона Академии наук УССР, в дальнейшем — Институт электросварки им. Е. О. Патона.

инженерами по совершенствованию и внедрению новой технологии сварки и нового сварочного оборудования, по разработке электродов и других сварочных материалов. Постановление (1980 г.) Совета Министров СССР «О дальнейшем совершенствовании и развитии сварочного производства в 1981—1985 гг.» наметило новые направления по дальнейшему совершенствованию сварочного производства, по повышению уровня автоматизации и механизации сварочных, заготовительных и сборочно-сварочных работ, совершенствованию технологии и оборудования.

Основные направления экономического и социального развития СССР на 1980—1985 годы и на период до 1990 года, утвержденные XXVI съездом КПСС, решения ноябрьского (1982 г.) и июньского (1983 г.) Пленумов ЦК КПСС предусматривают динамичное и пропорциональное развитие общественного производства, повышение его эффективности, ускорение научно-технического прогресса, рост производительности труда, всемерное улучшение качества работы во всех звеньях народного хозяйства. В сварочном производстве дальнейшая комплексная механизация и автоматизация сварки, применение поточных и конвейерных линий, внедрение прогрессивных технологических процессов и оборудования будут способствовать повышению производительности труда, улучшению и стабилизации качества сварных конструкций, уменьшению расхода электроэнергии и сварочных материалов, улучшению условий труда.

Советский Союз по объему работ и по уровню развития сварочного производства занимает одно из ведущих мест в мире. Сварка заняла важное место в различных отраслях промышленности и строительства благодаря своим преимуществам перед другими способами производства изделий, например, клепкой, литьем, ковкой и др.

Важным преимуществом сварки является возможность при производстве изделия выбирать его наиболее

рациональную конструкцию и форму. Сварка позволяет экономно использовать металлы и значительно уменьшить отходы производства. Например, при замене клепаных конструкций сварными экономия материалов в среднем составляет 15...20%, а при замене литых — около 50%. Трудоемкость сварочных работ меньше, чем при клепке и литье. Исключаются такие работы, как разметка, сверловка отверстий, сложная формовка и др. Особенно ощутимо снижение трудоемкости при изготовлении крупногабаритных изделий: при замене литых корпусов и станин сварно-литыми, а штампованных изделий сложной формы — штампо-сварными, что, в свою очередь, снижает их себестоимость.

Сварные соединения по прочности, как правило, не уступают прочности того металла, из которого сделаны изделия. Сварные конструкции хорошо работают при знакопеременных и динамических нагрузках, при высоких температурах и давлениях.

Особо следует подчеркнуть, что условия труда при сварке с точки зрения как гигиены, так и безопасности значительно лучше, чем при клепке и особенно при литье.

Сваркой называется процесс получения неразъемного соединения посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном или общем нагреве, пластическом деформировании или при совместном действии того и другого.

Для осуществления сварки необходимо сблизить кромки соединяемых частей и создать условия, необходимые для того, чтобы между ними начали действовать межатомные связи.

Существуют свыше 60 видов сварки, которые классифицируют по основным физическим, техническим и технологическим признакам. По физическим признакам в зависимости от формы используемой энергии предусматривается три класса сварки: термический, термомеханический и механический. Термический класс включает виды сварки с использованием тепловой энергии (дуговая, электро-

шлаковая, электроннолучевая, плазменная, газовая и др.). Термомеханический класс объединяет виды сварки, при которых используются давление и тепловая энергия (контактная, диффузионная и различные пресовые виды). Механический класс включает виды сварки с использованием механической энергии и давления (сварка холодная, взрывом, ультразвуковая, трением и др.).

Технические признаки различных видов сварки следующие: по способу защиты металла в зоне сварки (в воздухе, в вакууме, в защитном газе, под флюсом, по флюсу, в пене, с комбинированной защитой); по непрерывности процесса (непрерывные, прерывистые); по степени механизации (ручные, механизированные, автоматизированные, автоматические); по типу защитного газа (в активных газах, в инертных газах и их смесях) и по характеру защиты металла в зоне сварки (со струйной защитой, в контролируемой атмосфере).

Технологические признаки установлены для каждого вида сварки отдельно. В учебнике подробно рассмотрены технологические признаки дуговой, электрошлаковой, газовой и контактной сварок.

Термический класс сварок характеризуется тем, что сварка осуществляется плавлением кромок соединяемых частей. При этом образуется ванна расплавленного металла. При удалении источника нагрева металл сварочной ванны кристаллизуется и образует сварной шов, соединяющий свариваемые части.

Вид сварки определяется видом непосредственно используемого для плавления источника энергии. Так, при *дуговой* сварке нагрев свариваемых кромок осуществляется теплотой электрической дуги; при *электрошлаковой* сварке теплота электрической дуги используется лишь в начальный момент, после расплавления шлака сварка производится теплотой, выделяющейся при прохождении тока через расплавленный шлак. При *газовой* сварке используется теп-

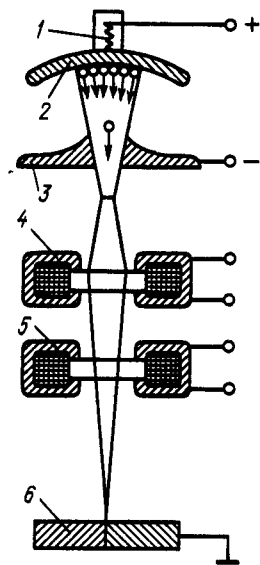


Рис. 1

лота сгорания газокислородной смеси.

При *электроннолучевой* сварке (рис. 1) используется кинетическая энергия концентрированного потока электронов, движущихся с большой скоростью; при соударении электронов с кромками изделия их кинетическая энергия переходит в тепловую. Раскаленный вольфрамовый катод 1, размещенный в фокусирующей головке 2, излучает поток электронов. Под действием высокого напряжения (30...100 кВ) между катодом и ускоряющим электродом (анодом) 3 поток электронов приобретает значительную кинетическую энергию. Магнитной линзой 4 поток электронов фокусируется в узкий луч, который с помощью магнитной отклоняющей системы 5 направляется точно на свариваемые кромки изделия 6. Установка питается от высоковольтного источника постоянного тока. Высокий вакуум $13 (10^{-3} \dots 10^{-5})$ Па в сварочной камере значительно снижает потери кинетической энергии электронов и обеспечивает химическую и тепловую защиту катода и свариваемого изделия.

При *плазменной* сварке, или сварке сжатой дугой, для нагрева используется теплота плазменной струи. Различают плазменную струю прямого

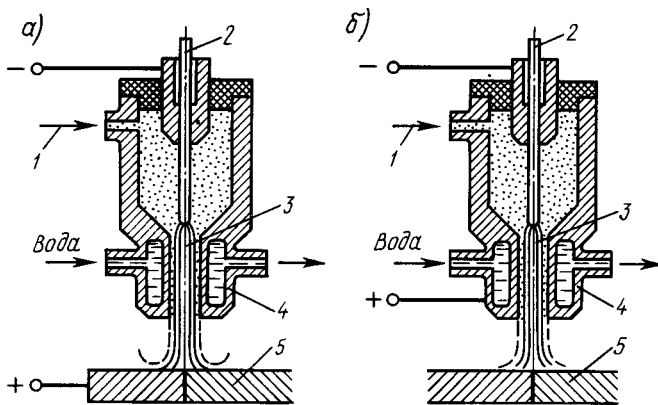


Рис. 2

действия — изделие является одним из электродов (рис. 2, а) и косвенного действия — изделие не включено в цепь сварочного тока (рис. 2, б). Плазмообразующий газ 1 (аргон, азот, водород), подаваемый под давлением в канал 3 сопла 4 плазмотрона, сжимает столб дуги, горящей между вольфрамовым (неплавящимся) электродом 2 и свариваемым изделием 5. Происходит значительное повышение температуры столба дуги и ионизация плазмообразующего газа.

Струей плазмы, имеющей температуру (1...3) 10^4 °C., сваривают самые различные тугоплавкие сплавы, метал-

лы и неметаллические материалы (стекло, керамика). Неэлектропроводные материалы сваривают по схеме косвенного действия. Источники питания дуги должны иметь рабочее напряжение более 120 В. Плазмообразующий газ служит также защитой расплавленного металла от атмосферного воздуха.

Для **термомеханического класса сварок** характерно использование как тепловой энергии, так и давления. Так, при контактной сварке нагрев производится теплотой, выделяющейся при прохождении тока через находящиеся в контакте под давлением свариваемые части.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СВАРКА ПЛАВЛЕНИЕМ И ДУГОВАЯ РЕЗКА

ГЛАВА I

КЛАССИФИКАЦИЯ И СУЩНОСТЬ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Дуговой сваркой называется сварка плавлением, при которой нагрев свариваемых кромок осуществляется тепловой электрической дугой.

Дуговая сварка классифицируется по следующим основным признакам: по виду электрода (плавящимся или неплавящимся электродом), по виду дуги (свободной или сжатой дугой), по характеру воздействия дуги на основной металл (дугой прямого или косвенного действия, трехфазной дугой). Плавящиеся электроды подразделяются на штучные, проволоочные и ленточные. Они применяются как сплошного сечения, так и порошковые. Неплавящиеся электроды применяются: вольфрамовые, угольные и графитовые.

Дуговую сварку производят постоянным током прямой и обратной полярности, переменным током как промышленной, так и повышенной частотой и пульсирующим током. При этом сварка может быть выполнена как одно-, двух- и многодуговая (с раздельным питанием каждой дуги), так и одно-, двух- и многоэлектродная (с общим подводом сварочного тока).

В промышленности и строительстве получили наибольшее применение следующие основные разновидности дуговой сварки.

Ручная дуговая сварка производится двумя способами: неплавящимся и плавящимся электродом. По первому способу (рис. 3, а) свариваемые кромки изделия 5 приводят в соприкосновение, между неплавящимся (угольным или графитовым) элект-

родом 3 и изделием возбуждают электрическую дугу 4. Кромки изделия и вводимый в зону дуги присадочный материал 2 нагреваются до плавления и образуют ванну расплавленного металла, который после затвердевания превращается в сварной шов 1. Этот способ используется иногда при сварке цветных металлов и их сплавов, а также при наплавке твердых сплавов. Второй способ сварки (рис. 3, б), выполняемой плавящимся электродом, является основным при ручной дуговой сварке. Электрическая дуга 2 возбуждается между металлическим (плавящимся) электродом 1 и свариваемыми кромками изделия 4. Теплота дуги расплавляет электрод и кромки изделия. Получается общая ванна расплавленного металла, которая, охлаждаясь, образует сварной шов 3.

Автоматическая сварка под флюсом (рис. 4) — это дуговая сварка, в которой механизированы основные движения (на рис. показаны стрелками), выполняемые сварщиком при ручной сварке — подача электрода 1 в зону дуги 2 и перемещение его вдоль свариваемых кромок изделия 7. При *полуавтоматической сварке* механизирована подача электрода в зону дуги, а перемещение электрода вдоль свариваемых кромок производится сварщиком вручную. Жидкий металл сварочной ванны 5 защищают от воздействия кислорода и азота воздуха расплавленным шлаком 4, образованным от плавления флюса 3, подаваемого в зону дуги. После затвердевания металла сварочной ванны образуется

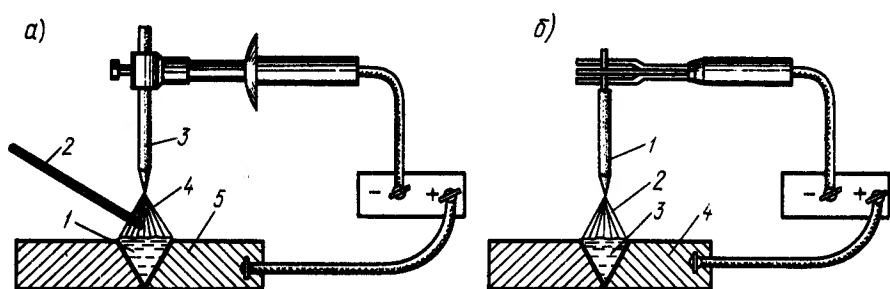


Рис. 3

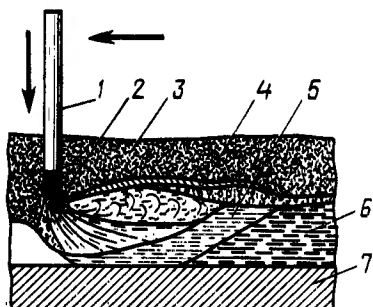


Рис. 4

сварной шов 6. Хорошее качество швов и высокая производительность обеспечили автоматической и полуавтоматической сварке под флюсом широкое применение.

Дуговая сварка в защитном газе выполняется неплавящимся (вольфрамовым) (рис. 5, а) или плавящимся (рис. 5, б) электродом 3. В первом случае сварной шов формируется за счет металла расплавляемых кромок изделия. При необходимости в зону дуги подается присадочный металл 4. Во втором случае подаваемая в зону дуги электродная проволока 3 расплавляется и участвует в образовании

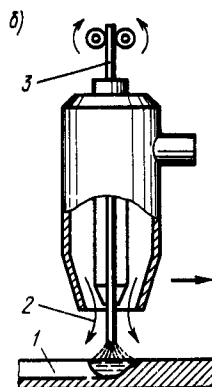
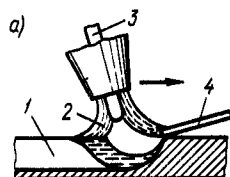


Рис. 5

сварного шва 1. Расплавленный металл защищают от окисления и азотирования струей защитного газа 2, отесняющей атмосферный воздух из зоны дуги.

ГЛАВА 2

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СВАРОЧНАЯ ДУГА

§ 1. Основные понятия

Электрическая сварочная дуга представляет собой устойчивый длительный электрический разряд в газовой среде между твердыми или жидкими электродами при высокой плотности тока, сопровождающийся выде-

лением большого количества теплоты. Электрический разряд в газе есть электрический ток, проходящий через газовую среду благодаря наличию в ней свободных электронов, а также отрицательных и положительных ионов, способных перемещаться между электродами под действием приложен-

ного электрического поля (разности потенциалов между электродами).

Электрон — это частица весьма малой массы, несущая элементарный (наименьший, неделимый) электрический заряд отрицательного знака. Масса электрона равна $9,1 \cdot 10^{-28}$ г; элементарный электрический заряд равен $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. **Ионом** называется атом или молекула вещества, имеющая один или несколько элементарных зарядов. Положительные ионы имеют избыточный положительный заряд; они образуются при потере нейтральным атомом или молекулой одного или нескольких электронов из своей наружной (валентной) оболочки (электроны, вращающиеся в валентной оболочке атома, связаны слабее, чем электроны внутренних оболочек, и поэтому легко отрываются от атома при столкновениях или под действием облучения). Отрицательные ионы имеют избыточный отрицательный заряд; они образуются, если атом или молекула присоединяет к своей валентной оболочке лишние электроны.

Процесс, при котором из нейтральных атомов и молекул образуются положительные и отрицательные ионы, называется ионизацией. Ионизация, вызванная в некотором объеме газовой среды, называется объемной ионизацией. Объемная ионизация, полученная благодаря нагреванию газа до очень высоких температур, называется термической ионизацией.

При высоких температурах значительная часть молекул газа обладает достаточной энергией для того, чтобы при столкновениях могло произойти разбиение нейтральных молекул на ионы; кроме того, с повышением температуры увеличивается общее число столкновений между молекулами газа. При очень высоких температурах на процесс ионизации начинает влиять также и излучение газа и раскаленных электронов. При обычных температурах ионизацию можно вызвать, если уже имеющимся в газе электронам и ионам сообщить с помощью электрического поля большие скорости. Обладая большой энергией, эти частицы могут разбивать нейтральные атомы и молекулы на

ионы. Кроме того, ионизацию можно вызвать световыми, ультрафиолетовыми, рентгеновскими лучами, а также излучением радиоактивных веществ.

В обычных условиях воздух, как и все газы, обладает весьма слабой электропроводностью. Это объясняется малой концентрацией свободных электронов и ионов. Поэтому, для того чтобы вызвать в воздухе или в газе мощный электрический ток, т. е. электрическую дугу, необходимо ионизировать воздушный промежуток (или другую газообразную среду) между электродами. Ионизацию можно произвести, если приложить к электродам достаточно высокое напряжение; тогда имеющиеся в газе (в малом количестве) свободные электроны и ионы будут разгоняться электрическим полем и, получив большие энергии, смогут разбить нейтральные атомы и молекулы на ионы.

При сварке из соображений техники безопасности нельзя пользоваться высокими напряжениями. Поэтому используют явления термоэлектронной и автоэлектронной эмиссии. При этом имеющиеся в металле в большом количестве свободные электроны, обладая достаточной кинетической энергией, переходят в газовую среду межэлектродного пространства и способствуют ее ионизации.

При термоэлектронной эмиссии благодаря высокой температуре свободные электроны «испаряются» с поверхности металла. Чем выше температура, тем большее число свободных электронов приобретает энергию, достаточную для преодоления потенциального барьера в поверхностном слое и выхода из металла. При автоэлектронной (холодной) эмиссии создается внешнее электрическое поле, которое изменяет потенциальный барьер у поверхности металла и облегчает выход тех электронов, которые имеют достаточную энергию для преодоления этого барьера.

Ионизация газовой среды характеризуется степенью ионизации, т. е. отношением числа заряженных частиц в данном объеме к первоначальному числу частиц (до начала ионизации).

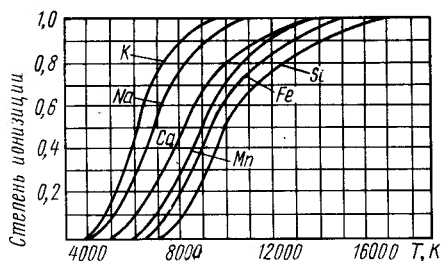


Рис. 6

При полной ионизации степень ионизации равна единице. На рис. 6 представлен график зависимости степени ионизации от температуры нагрева некоторых веществ. Из графика видно, что при температуре 6000...8000 К такие вещества, как калий, натрий, кальций, обладают достаточно высокой степенью ионизации. Пары этих элементов, находясь в дуговом промежутке, обеспечивают легкость возбуждения и устойчивое горение дуги. Это свойство щелочных металлов объясняется тем, что атомы

Элементы	K	Na	Ba	Li	Al	Ca	Cr	Mn	S	H	O	N
V_1	4,32	5,12	5,19	5,37	5,96	6,08	6,74	7,40	11,22	13,53	13,56	14,50

Как видно, наименьшим потенциалом ионизации обладают калий, натрий, барий, литий, алюминий, кальций и др. Поэтому для повышения устойчивости горения электрической дуги эти вещества вводят в зону дуги в виде электродных покрытий или флюсов.

Таким образом, электропроводность воздушного промежутка между электродами, а отсюда и устойчивое горение дуги обеспечивается эмиссией катода и объемной ионизацией газов в зоне дуги, благодаря которым в дуге

этих металлов обладают малым потенциалом ионизации.

Потенциалом ионизации называется отношение работы выхода электрона из атома вещества к заряду этого электрона:

$$V = W / e,$$

где V — потенциал ионизации, В; W — работа выхода электрона, Дж; e — заряд электрона, Кл.

Сложные атомы, содержащие в своем составе много электронов, имеют несколько потенциалов ионизации. Первый потенциал ионизации соответствует выходу электрона, находящегося в наружной оболочке атома и слабее других связанного с ним. Выход следующих электронов, расположенных ближе к ядру и сильнее связанных с ним, требует большей работы. Поэтому вторые и последующие потенциалы ионизации, соответствующие выходам второго и последующих электронов, будут больше. Первые потенциалы V_1 ионизации некоторых элементов:

перемещаются мощные потоки заряженных частиц.

Электрическая дуга постоянного тока возбуждается при соприкосновении торца электрода и кромок свариваемых деталей. Контакт в начальный момент возникает между микровыступами поверхностей электрода и свариваемой детали (рис. 7, а). Высокая плотность тока способствует мгновенному расплавлению этих выступов и образованию пленки жидкого металла (рис. 7, б), которая замыкает электрическую цепь на

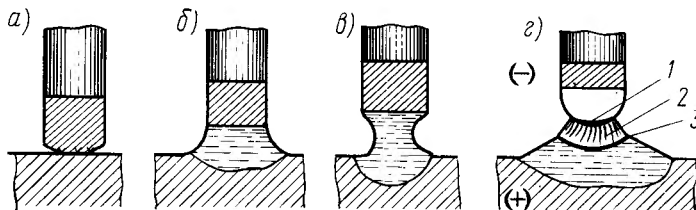


Рис. 7

участке «электрод — свариваемая деталь». При последующем отводе электрода от поверхности детали на 2...4 мм (рис. 7, в) пленка жидкого металла растягивается, а сечение ее уменьшается, вследствие чего возрастает плотность тока и повышается температура металла. Эти явления приводят к разрыву пленки и испарению вскипевшего металла. При этом интенсивные термо- и автоэлектронная эмиссии обеспечивают ионизацию паров металла и газов межэлектродного промежутка. В образовавшейся ионизированной среде возникает электрическая сварочная дуга (рис. 7, г). Процесс возбуждения дуги кратковременен и осуществляется сварщиком в течение долей секунды.

В установившейся сварочной дуге (рис. 7, г) различают три зоны: катодную 1, анодную 3 и столба дуги 2. Катодная зона глубиной около 10^{-5} см, так называемое катодное пятно, расположена на торце катода (на рис. 7 электрод является катодом, а деталь — анодом). Отсюда вылетает поток свободных электронов, ионизирующих дуговой промежуток. Плотность тока на катодном пятне достигает 60...70 А/мм². К катоду устремляются потоки положительных ионов, которые бомбардируют его и отдают свою энергию, нагревая его до температуры 2500...3000°C.

Анодная зона, называемая анодным пятном, расположена на торце анода. К анодному пятну устремляются и отдают свою энергию потоки электронов, накаляя его до температуры 2500...4000°C. Столб дуги, расположенный между катодной и анодной зонами, состоит из раскаленных и ионизированных частиц. Температура в этой зоне достигает 6000...7000°C в зависимости от плотности сварочного тока.

В начальный момент для возбуждения дуги необходимо несколько большее напряжение, чем при ее последующем горении. Это объясняется тем, что при возбуждении дуги воздушный зазор недостаточно нагрет, степень ионизации невысокая и необходимо напряжение, способное сообщить свободным

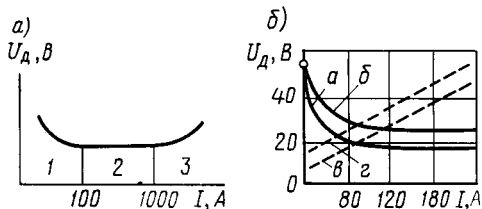


Рис. 8

электронам такую энергию, чтобы при их столкновении с атомами газового промежутка могла произойти ионизация. Увеличение концентрации свободных электронов в объеме дуги приводит к интенсивной ионизации дугового промежутка, а отсюда к повышению его электропроводности. Вследствие этого напряжение падает до значения, необходимого для устойчивого горения дуги.

Зависимость напряжения дуги от тока и сварочной цепи называют статической вольт-амперной характеристикой дуги.

Вольт-амперная характеристика дуги (рис. 8, а) имеет три области: падающую 1, жесткую 2 и возрастающую 3. В области 1 (до 100 А) с увеличением тока напряжение значительно уменьшается. Это происходит в связи с тем, что при повышении тока увеличивается поперечное сечение, а следовательно, и проводимость столба дуги. В области 2 (100...1000 А) при увеличении тока напряжение сохраняется постоянным, так как сечение столба дуги и площади анодного и катодного пятен увеличиваются пропорционально току. Область характеризуется постоянством плотности тока. В области 3 напряжение возрастает вследствие того, что увеличение плотности тока выше определенного значения не сопровождается увеличением катодного пятна ввиду ограниченности сечения электрода. Дуга области 1 горит неустойчиво и поэтому имеет ограниченное применение. Дуга области 2 горит устойчиво и обеспечивает нормальный процесс сварки.

Вольт-амперная характеристика дуги при ручной дуговой сварке низко-

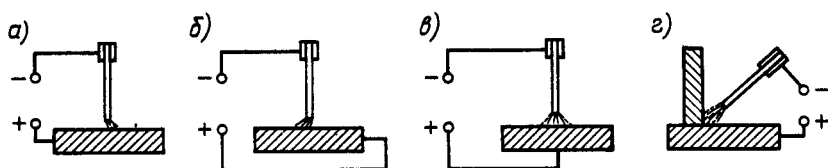


Рис. 9

углеродистой стали (рис. 8, б) представлена в виде кривых *а* (длина дуги 2 мм) и *б* (длина дуги 4 мм). Кривые *в* (длина дуги 2 мм) и *г* (длина дуги 4 мм) относятся к автоматической сварке под флюсом при высоких плотностях тока.

Напряжение, необходимое для возбуждения дуги, зависит: от рода тока (постоянный или переменный), длины дугового промежутка, материала электрода и свариваемых кромок, покрытия электродов и ряда других факторов. Значения напряжений, обеспечивающих возникновение дуги в дуговых промежутках, равных 2...4 мм, находятся в пределах 40...70 В. Напряжение (В) для установившейся сварочной дуги может быть определено по формуле

$$U_d = a + bl_d$$

где *a* — коэффициент, по своей физической сущности представляющий сумму падений напряжений в катодной и анодной зонах, В; *b* — коэффициент, выражающий среднее падение напряжения на единицу длины дуги, В/мм; *l_д* — длина дуги, мм.

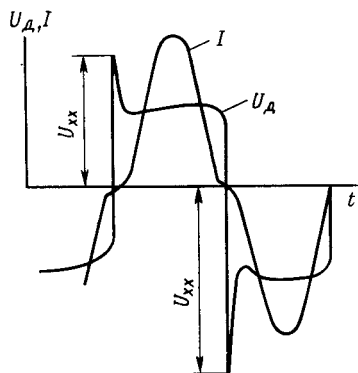


Рис. 10

Длиной дуги называется расстояние между торцом электрода и поверхностью сварочной ванны. «Короткой» называют дугу длиной 2...4 мм. Длина «нормальной» дуги — 4...6 мм. Дугу длиной более 6 мм называют «длинной».

Оптимальный режим сварки обеспечивается при короткой дуге. При длинной дуге процесс протекает неравномерно, дуга горит неустойчиво, металл, проходя через дуговой промежуток, больше окисляется и азотируется, увеличиваются угар и разбрызгивание металла.

Электрическая сварочная дуга может отклоняться от своего нормального положения при действии магнитных полей, неравномерно и несимметрично расположенных вокруг дуги и в свариваемой детали. Эти поля действуют на движущиеся заряженные частицы и тем самым оказывают воздействие на всю дугу. Такое явление называется *магнитным дутьем*. Воздействие магнитных полей на дугу прямо пропорционально квадрату силы тока и становится заметным при сварочных токах более 300 А.

На отклонение дуги влияют место подвода тока к свариваемой детали (рис. 9, а, б, в) и наклон электрода (рис. 9, г). Наличие вблизи сварочной дуги значительных ферромагнитных масс также нарушает симметричность магнитного поля дуги и вызывает отклонение дуги в сторону этих масс.

Магнитное дутье в некоторых случаях затрудняет процесс сварки, и поэтому принимаются меры по снижению его действия на дугу. К таким мерам относятся: сварка короткой дугой, подвод сварочного тока в точке, максимально близкой к дуге, наклон электрода в сторону действия магнитного дутья, размещение у места сварки ферромагнитных масс.

При использовании переменного тока анодное и катодное пятна меняются местами с частотой, равной частоте тока. С течением времени напряжение U_d и ток I периодически изменяются от нулевого значения до наибольшего, как показано на рис. 10 ($U_{x.x}$ — напряжение зажигания дуги). При переходе значения тока через нуль и перемене полярности в начале и в конце каждого полупериода дуга гаснет, температура активных пятен и дугового промежутка снижается. Вследствие этого происходит деионизация газов и уменьшение электропроводности столба дуги. Интенсивнее падает температура активного пятна, расположенного на поверхности сварочной ванны в связи с отводом теплоты в массу основного металла. Повторное зажигание дуги в начале каждого полупериода возможно только при повышенном напряжении, называемом пиком зажигания. При этом установлено, что пик зажигания несколько выше, когда катодное пятно находится на основном металле. Для снижения пика зажигания, облегчения повторного зажигания дуги и повышения устойчивости ее горения применяют меры, снижающие эффективный потенциал ионизации газов в дуге. При этом электропроводность дуги после ее угасания сохраняется дольше, пик зажигания снижается, дуга легче возбуждается и горит устойчивее.

К этим мерам относится применение различных стабилизирующих элементов (калий, натрий, кальций и др.), вводимых в зону дуги в виде электродных покрытий или в виде флюсов.

Важное значение имеет сдвиг фаз между напряжением и током: необходимо, чтобы при переходе тока через нулевое значение напряжение было достаточным для возбуждения дуги.

§ 2. Тепловые свойства сварочной дуги

Энергия мощных потоков заряженных частиц, бомбардирующих катод и анод, превращается в тепловую энергию электрической дуги. Суммарное количество теплоты Q (Дж), выделяе-

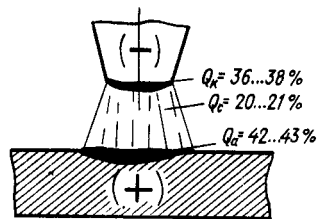


Рис. 11

мое дугой на катод Q_k , аноде Q_a и в столбе дуги Q_c , определяется по формуле

$$Q = I U_d t,$$

где I — сварочный ток, А; U_d — напряжение дуги, В; t — время горения дуги, с.

При питании дуги постоянным током (рис. 11) наибольшее количество теплоты выделяется в зоне анода. Это объясняется тем, что анод подвергается более мощной бомбардировке заряженными частицами, чем катод, а при столкновении частиц в столбе дуги выделяется меньшая доля общего количества теплоты.

При сварке угольным электродом температура в катодной зоне достигает 3200°C , в анодной — 3900°C , а в столбе дуги среднее значение температуры составляет 6000°C . При сварке металлическим электродом температура катодной зоны составляет около 2400°C , а анодной зоны — 2600°C .

Разная температура катодной и анодной зон и разное количество теплоты, выделяющейся в этих зонах, используются при решении технологических задач. При сварке деталей, требующих большого подвода теплоты для прогрева кромок, применяют прямую полярность, при которой анод (плюсовая клемма источника тока) подсоединяют к детали, а катод (минусовая клемма источника тока) — к электроду. При сварке тонкостенных изделий, тонколистовых конструкций, а также сталей, не допускающих перегрева (нержавеющие, жаропрочные, высокоуглеродистые и др.), применяют сварку постоянным током обратной полярности. В этом случае катод подсоединяют к свариваемой де-

тали, а анод — к электроду. При этом не только обеспечивается меньший нагрев свариваемой детали, но и ускоряется процесс расплавления электродного материала за счет более высокой температуры анодной зоны и большего подвода теплоты. Полярность клемм источника постоянного тока определяют с помощью раствора поваренной соли (половина чайной ложки соли на стакан воды). Если в такой раствор опустить провода от клемм источника тока, то у отрицательного провода будет происходить бурное выделение пузырьков водорода.

При питании дуги переменным током различие температур катодной и анодной зон и распределение теплоты сглаживаются вследствие периодической смены катодного и анодного пятна с частотой, равной частоте тока.

Практика показывает, что в среднем при ручной сварке только 60...70% теплоты дуги используется на нагревание и плавление металла. Остальная часть теплоты рассеивается в окружающую среду через излучение и конвекцию.

Количество теплоты, используемое на нагрев и плавку свариваемого металла в единицу времени, называется *эффективной тепловой мощностью дуги* Q_s (Дж). Она равна полной тепловой мощности дуги, умноженной на эффективный коэффициент полезного действия η нагрева металла дугой:

$$Q_s = I U_d \eta.$$

Величина η зависит от способа сварки, материала электрода, состава электродного покрытия и других факторов. При ручной дуговой сварке электродом с тонким покрытием или угольным электродом η составляет

0,5...0,6, а при качественных электродах — 0,7...0,85. При аргонодуговой сварке потери теплоты значительны ($\eta = 0,5...0,6$). Наиболее полно используется теплота при сварке под флюсом ($\eta = 0,85...0,93$).

Для характеристики теплового режима процесса сварки принято определять *погонную энергию дуги*, т. е. количество теплоты, вводимое в металл на единицу длины однопроходного шва, измеряемое в Дж/м. Погонная энергия Q_n равна отношению эффективной тепловой мощности Q_s к скорости сварки v :

$$Q_n = Q_s / v = I U_d \eta / v.$$

Потери теплоты при ручной дуговой сварке составляют примерно 25%, из которых 20% уходят в окружающую среду через излучение и конвекцию паров и газов, а 5% — на угар и разбрызгивание свариваемого металла. При автоматической сварке под флюсом потери составляют только 17%, из которых 16% расходуются на плавление флюса и 1% на угар и разбрызгивание.

§ 3. Плавление и перенос металла в дуге

Металл плавящегося электрода переходит (в виде капель различного размера) в сварочную ванну. Схематично перенос металла электрода можно представить в следующем виде. В начальный момент металл на конце электрода подплавляется и образуется слой расплавленного металла (рис. 12, а). Затем под действием сил поверхностного натяжения и силы тяжести этот слой металла принимает форму капли (рис. 12, б) с образованием у основания тонкой шейки, которая с течением времени умень-

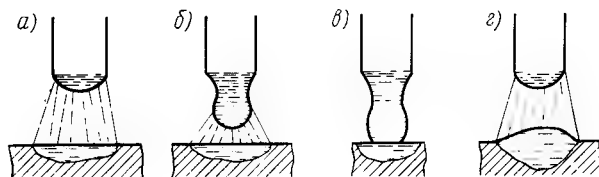


Рис. 12

шается. Это приводит к значительному увеличению плотности тока в шейке капли. Удлинение шейки продолжается до момента касания капли поверхности сварочной ванны (рис. 12, в). В этот момент происходит короткое замыкание сварочной цепи. Резкое возрастание тока приводит к разрыву шейки и в следующее мгновение вновь возникает дуга (рис. 12, г), но уже между торцом электрода и каплей. Под давлением паров и газов зоны дуги капля с ускорением внедряется в жидкий металл сварочной ванны. При этом часть металла разбрызгивается. Затем процесс каплеобразования повторяется.

Установлено, что время горения дуги и короткого замыкания составляет примерно 0,02...0,05 с. Частота и продолжительность короткого замыкания в значительной степени зависят от длины сварочной дуги. Чем меньше длина дуги, тем больше коротких замыканий и тем они продолжительнее.

Форма и размеры капель металла определяются силой тяжести и силами поверхностного натяжения. При сварке в нижнем положении сила тяжести способствует отрыву капли, а при потолочной сварке препятствует переносу металла электрода в шов. На размеры капель большое влияние оказывают состав и толщина электродного покрытия, а также сварочный ток. Электродное покрытие, как правило, снижает поверхностное натяжение металла почти на 25...30%. Кроме того, газообразующие компоненты покрытия выделяют большое количество газов и создают в зоне дуги повышенное давление, которое способствует размельчению капель жидкого металла. При повышении сварочного тока размер капель уменьшается. Перенос электродного металла крупными каплями имеет место при сварке на малых токах электродами с тонким покрытием. При больших плотностях сварочного тока и при использовании электродов с толстым покрытием перенос металла осуществляется в виде потока мельчайших капель (струйный перенос металла).

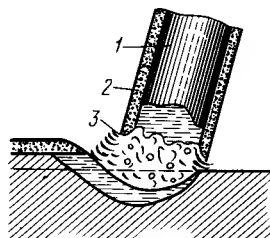


Рис. 13

На скорость переноса капель металла в дуге действует газовое дутье, представляющее собой поток газов, направленный вдоль дуги в сторону сварочной ванны. При сварке электродом с толстым покрытием стержень 1 электрода (рис. 13) плавится быстрее и торец его оказывается несколько прикрытым «чехольчиком» 3 покрытия 2. Интенсивное газообразование в небольшом объеме «чехольчика» приводит к явлению газового дутья, ускоряющего переход капель металла в сварочную ванну.

Основным фактором, влияющим на скорость переноса металла в дуге, является электромагнитное поле. Магнитное поле оказывает сжимающее действие и ускоряет образование и сужение шейки капли, а следовательно, и отрыв ее от торца электрода. Электрическое поле, напряженность которого направлена вдоль дуги в сторону сварочной ванны, также ускоряет процесс отрыва капель. При потолочной сварке перенос капель электродного металла в сварной шов обеспечивается в основном действием магнитного и электрического полей, а также явлением газового дутья в дуге.

Капли металла, проходящие через дугу, имеют шлаковую оболочку, которая образуется от плавления веществ, входящих в покрытие электрода. Эта оболочка защищает металл капли от окисления и азотирования, обеспечивая хорошее качество металла шва.

Доля электродного металла в составе металла шва различна и зависит от способа и режима сварки, а также от вида сварного шва. При ручной сварке доля электродного металла колеблется в широких пределах

(30...80%), а при автоматической сварке она составляет 30...40%.

Производительность сварки в значительной степени зависит от скорости расплавления электродного металла, которая оценивается коэффициентом расплавления α_p .

Коэффициент расплавления численно равен массе электродного металла в граммах, расплавленной в течение одного часа, отнесенной к одному амперу сварочного тока.

Коэффициент расплавления зависит от ряда факторов. При обратной полярности коэффициент расплавления больше, чем при прямой полярности, так как температура анода выше, чем катода. Состав покрытия электрода и его толщина также влияют на коэффициент расплавления. Это объясняется, во-первых, значением эффективного потенциала ионизации газов, а во-вторых, изменением теплового баланса дугового промежутка. Коэффициент расплавления при ручной дуговой сварке составляет 6,5...14,5 г/(А · ч). Меньшие значения имеют электроды с тонким покрытием, а большие — электроды с толстым покрытием.

Для оценки скорости сварки пользуются коэффициентом наплавки α_n . Этот коэффициент оценивает массу электродного металла, введенного в сварной шов.

Коэффициент наплавки меньше коэффициента расплавления на величину потерь электродного металла из-

за угара и разбрызгивания. Эти потери при ручной сварке достигают 25...30%, а при автоматической сварке под флюсом составляют только 2...5% от количества расплавленного электродного металла. Знание этих коэффициентов позволяет произвести расчет потребного количества электродного металла для сварки шва установленного сечения и определить скорость сварки шва.

Количество металла (кг), необходимое для получения сварного шва, $g_n = L F \rho$, где L — длина свариваемого шва, м; F — площадь поперечного сечения шва, м²; ρ — плотность электродного металла, кг/м³.

Выражая это же количество металла (кг) через коэффициент наплавки, получим $g_n = 10^{-3} \alpha_n I t$, где α_n — коэффициент наплавки, г/(А · ч); I — сварочный ток, А; t — время горения дуги, ч. Отсюда: время горения дуги (ч) $t = 10^{-3} g_n / (\alpha_n I)$; скорость сварки (м/ч) $v = L/t$.

Зная g_n , можно определить необходимое количество электродного металла: $g_s = g_n (1 + \psi)$, где ψ — коэффициент потерь металла на угар и разбрызгивание.

Кроме того, потребное количество электродного металла (кг) можно определить, зная коэффициент расплавления α_p : $g_s = 10^{-3} \alpha_p I t$.

Задав шись диаметром и длиной электрода, по g_s вычисляют потребное количество электродов. Диаметр стержня электрода должен соответствовать значению сварочного тока, длина стандартизована.

ГЛАВА 3

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

§ 4. Основные требования

Важным условием получения сварного шва высокого качества является устойчивость процесса сварки. Для этого источники питания дуги должны обеспечивать возбуждение и стабильное горение дуги.

Возбуждение сварочной дуги начинается с короткого замыкания сварочной цепи — контакта между элект-

родом и деталью. При этом происходит выделение теплоты и быстрое разогревание места контакта. Эта начальная стадия требует повышенного напряжения сварочного тока. В дальнейшем происходит некоторое уменьшение сопротивления дугового промежутка (вследствие эмиссии электронов с катода и появления объемной ионизации газов в дуге), что вызывает снижение напряжения до предела,

необходимого для поддержания устойчивого горения дуги. При переходе каплей электродного металла в сварочную ванну происходят частые короткие замыкания сварочной цепи. Вместе с этим изменяется длина сварочной дуги. При каждом коротком замыкании напряжение падает до нулевого значения. Для последующего восстановления дуги необходимо напряжение порядка 25...30 В. Такое напряжение должно обеспечиваться за время не более 0,05 с, чтобы поддерживать горение дуги в период между короткими замыканиями. Следует учесть, что при коротких замыканиях сварочной цепи развиваются большие токи (токи короткого замыкания), которые могут вызвать перегрев в проводке и обмотках источника тока.

Эти условия процесса сварки в основном и определяют требования, предъявляемые к источникам питания сварочной дуги. Для обеспечения устойчивого процесса сварки источники питания дуги должны удовлетворять следующим требованиям:

напряжение холостого хода должно быть достаточным для легкого возбуждения дуги и в то же время не должно превышать нормы безопасности. Максимально допустимое напряжение холостого хода установлено для источников постоянного тока — 90 В, а для источников переменного тока — 80 В;

напряжение устойчивого горения дуги (рабочее напряжение) должно быстро устанавливаться и изменяться в зависимости от длины дуги. С увеличением длины дуги напряжение должно быстро возрастать, а с уменьшением — быстро падать. Время восстановления рабочего напряжения от 0 до 30 В после каждого короткого замыкания (при капельном переносе металла от электрода к свариваемой детали) должно быть менее 0,05 с;

ток короткого замыкания не должен превышать сварочный ток более чем на 40...50%. При этом источник тока должен выдерживать продолжительные короткие замыкания сварочной цепи. Это условие необходимо

для предохранения обмоток источника тока от перегрева и повреждения; мощность источника тока должна быть достаточной для выполнения сварочных работ.

Кроме того, необходимы устройства, позволяющие регулировать сварочный ток в требуемых пределах.

Промышленностью выпускаются следующие типы источников питания сварочной дуги: сварочные преобразователи, сварочные аппараты переменного тока, сварочные выпрямители.

§ 5. Сварочные преобразователи

Сварочные преобразователи подразделяют на следующие группы: по числу питаемых постов — однопостовые, предназначенные для питания одной сварочной дуги; многопостовые, питающие одновременно несколько сварочных дуг; по способу установки — стационарные, устанавливаемые неподвижно на фундаментах; передвижные, монтируемые на тележках; по роду двигателя, приводящих генератор во вращение, — машины с электрическим приводом; машины с двигателем внутреннего сгорания (бензиновым или дизельным); по способу выполнения — однокорпусные, в которых генератор и двигатель вмонтированы в единый корпус; отдельные, в которых генератор и двигатель установлены на одной раме, а привод осуществляется через соединительную муфту.

Однопостовые сварочные преобразователи состоят из генератора и электродвигателя или двигателя внутреннего сгорания. Электрическая схема сварочного генератора обеспечивает падающую внешнюю характеристику и ограничение тока короткого замыкания. Внешняя вольт-амперная характеристика I (рис. 14) показывает зависимость между напряжением и током на клеммах сварочной цепи генератора. Для устойчивости горения сварочной дуги характеристика генератора I должна пересекать характеристику дуги III . При возбуждении дуги напряжение изменяется (II) от точки 1 к точке 2. При возникновении

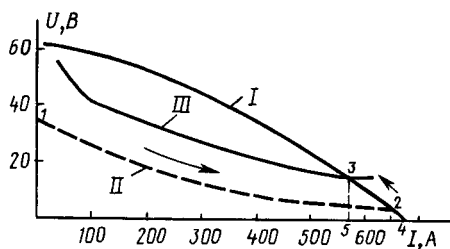


Рис. 14

и устойчивом горении дуги ее характеристика смещается с положения II и занимает положение III, а напряжение возрастает до значения, указанного точкой 3. Эта точка соответствует режиму устойчивого горения сварочной дуги. Ток короткого замыкания (точка 4) не должен превышать сварочный ток (точка 5) более чем в 1,5 раза: $I_k < 1,5I_p$.

Наибольшее распространение в строительстве получили однополюсные генераторы с расщепленными полюсами и генераторы с размагничивающей последовательной обмоткой.

Генераторы с расщепленными полюсами обеспечивают падающую

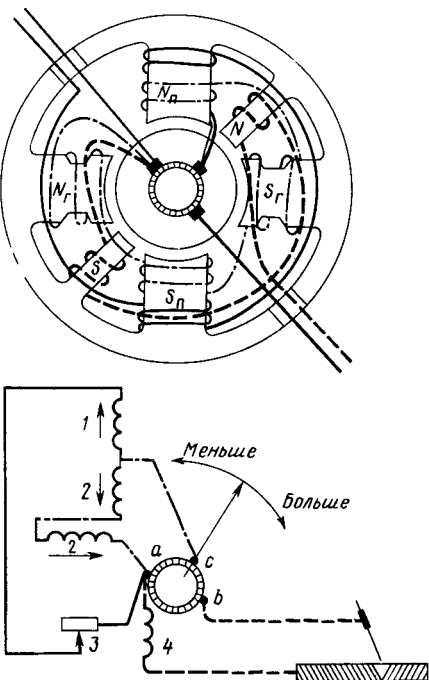


Рис. 15

внешнюю характеристику, используя размагничивающее действие магнитного потока якоря. На рис. 15 показана схема сварочного генератора такого типа. Генератор имеет четыре основных (N_r и S_r — главные, N_n и S_n — поперечные) и два дополнительных (N и S) полюса. При этом одноименные основные полюсы расположены рядом, составляя как бы один раздвоенный полюс. Обмотки возбуждения имеют две секции: нерегулируемую 2 и регулируемую 1. Нерегулируемая обмотка расположена на всех четырех основных полюсах, а регулируемая — только на поперечных. В цепь регулируемой обмотки возбуждения включен реостат 3. На дополнительных полюсах расположена серийная обмотка 4. По нейтральной линии симметрии $O-O$ между разноименными полюсами на коллекторе генератора расположены основные щетки a и b , к которым подключается сварочная цепь. Дополнительная щетка c служит для питания обмоток возбуждения.

При холостом ходе генератора (рис. 16, а) обмотки полюсов создают два магнитных потока Φ_r и Φ_n , которые индуцируют э. д. с. в обмотке якоря. При замыкании сварочной цепи (рис. 16, б) по обмотке якоря потечет ток, который создает магнитный поток якоря $\Phi_{я}$, направленный по линии основных щеток и замыкающийся через полюсы генератора. Магнитный поток якоря $\Phi_{я}$ можно разложить на два составляющих потока $\Phi_{яг}$ и $\Phi_{яп}$. Поток $\Phi_{яг}$ по направлению будет совпадать с потоком Φ_r главных полюсов, но усилить его не может, так как главные полюсы генератора имеют вырезы, уменьшающие площади их поперечных сечений, и поэтому они работают при полном магнитном насыщении (т. е. магнитный поток этих полюсов независимо от нагрузки остается практически постоянным). Поток $\Phi_{яп}$ направлен против потока Φ_n поперечных полюсов и поэтому ослабляет его и даже может изменить направление суммарного потока. Такое действие магнитного потока якоря приводит к ослаблению суммарного

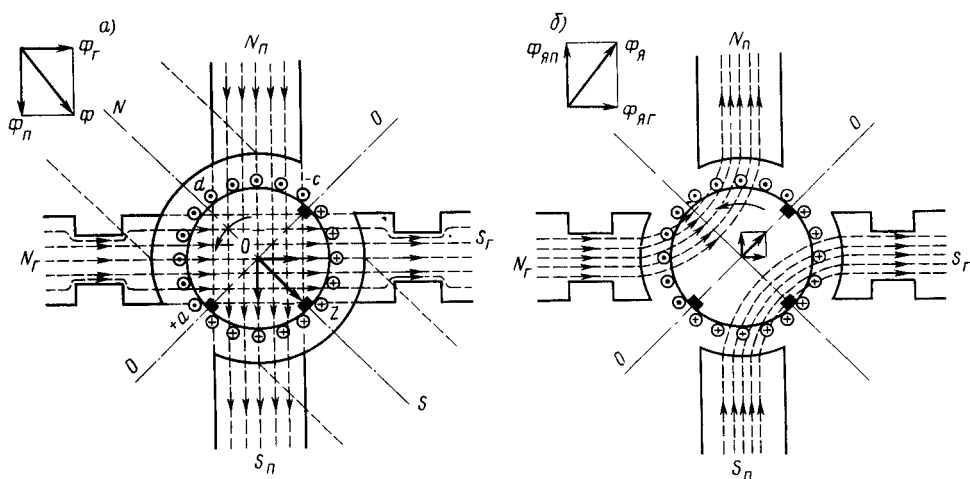


Рис. 16

магнитного потока генератора, а отсюда к уменьшению напряжения на основных щетках генератора. Чем больший ток протекает по обмотке якоря, тем больше магнитный поток $\Phi_{\text{я}}$, тем больше снижается напряжение. При коротком замыкании сварочной цепи напряжение на основных щетках почти достигает нулевого значения.

Сварочный ток регулируют в два приема — грубо и точно. При грубом регулировании смещают щеточную траверсу, на которой расположены все три щетки генератора. Если сдвигать щетки по направлению вращения якоря, то размагничивающее действие потока якоря увеличивается и сварочный ток уменьшается. При обратном сдвиге размагничивающее действие уменьшается и сварочный ток увеличивается. Таким образом устанавливают интервалы больших и малых токов. Плавное и точное регулирование тока производят реостатом, включенным в цепь обмотки возбуждения. Увеличивая или уменьшая реостатом ток возбуждения в обмотке поперечных полюсов, изменяют магнитный поток Φ_n , тем самым изменяют напряжение генератора и сварочный ток.

В генераторах с расщепленными полюсами поздних выпусков сварочный ток регулируют изменением числа витков секционированных обмоток полюсов генератора и реостатом, вклю-

ченным в цепь обмотки возбуждения. Реостат устанавливается на корпусе генератора и имеет шкалу с делениями в амперах. По такой схеме работают генераторы СГ-300М-1, используемые в преобразователях ПС-300М-1.

Принципиальная схема генератора с размагничивающим действием последовательной обмотки возбуждения, включенной в сварочную цепь, представлена на рис. 17. Генератор имеет две обмотки: обмотку возбуждения 1 и размагничивающую последовательную обмотку 2. Обмотка возбуждения питается либо от основной и дополнительной щеток (b и c), либо от специального источника постоянного тока (от сети переменного тока через селеновый выпрямитель). Маг-

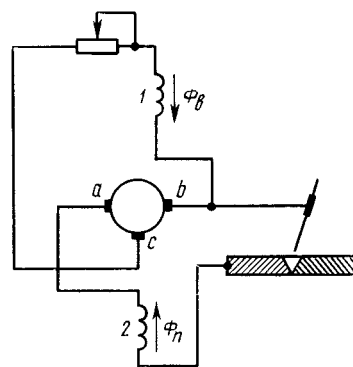


Рис. 17

Марка преобразователя	Марка генератора	Номинальное напряжение, В	Пределы регулирования сварочного тока, А	Электродвигатель		Масса агрегата, кг
				тип	мощность, кВт	
ПСО-120	ГСО-120	25	30...120	AB-42-2	4	155
ПСО-300	ГСО-300	30	75...320	AB-62-4	14	400
ПСО-500	ГСО-500	40	120...600	AB-72-4	28	780
ПС-300М-1	ГС-300М-1	30	80...380	A-62-4	14	590
ПС-500	ГС-500	40	120...600	A-72-4	28	940

рочных преобразователей дана в табл. 1.

нитный поток Φ_v , создаваемый этой обмоткой, постоянный и не зависит от нагрузки генератора. Размагничивающая обмотка включена последовательно с обмоткой якоря так, что при горении дуги сварочный ток, проходя через обмотку, создает магнитный поток Φ_n , направленный против потока Φ_v . Следовательно, э. д. с. генератора будет индуцироваться результирующим магнитным потоком $\Phi_v - \Phi_n$. С увеличением сварочного тока магнитный поток Φ_n возрастает, а результирующий магнитный поток $\Phi_v - \Phi_n$ уменьшается. Как следствие, уменьшается индуцируемая э. д. с. генератора. Таким образом, размагничивающее действие обмотки 2 обеспечивает получение падающей внешней характеристики генератора. Сварочный ток регулируется переключением витков последовательной обмотки (грубая регулировка — два диапазона) и реостатом обмотки возбуждения (плавная и точная регулировка в пределах каждого диапазона). По такой схеме выпускаются генераторы ГСО-120, ГСО-300, ГСО-500, ГС-500 и др. Краткая техническая характеристика сва-

На рис. 18 представлен однопостовой передвижной сварочный преобразователь ПСО-500, выпускаемый серийно и нашедший широкое применение при строительно-монтажных работах. Он состоит из генератора ГСО-500 и трехфазного асинхронного электродвигателя AB-72-4, смонтированных в едином корпусе на колесах для перемещения по строительной площадке. Преобразователь предназначен для ручной дуговой сварки, полуавтоматической сланговой и автоматической сварки под флюсом. Для грубого регулирования сварочного тока (переключения витков последовательной обмотки) на клеммовую доску генератора выведены один отрицательный и два положительных контакта. Если необходим сварочный ток в пределах 120...350 А, то сварочные провода присоединяют к отрицательному и среднему положительному контактам. При работе на токах 350...600 А сварочные провода присоединяют к отрицательному и крайнему положительному контактам. Плавно сварочный ток регулируют реостатом, включенным в цепь обмотки независимого возбуждения. Реостат расположен на корпусе машины и имеет маховик с токоуказателем. Шкала имеет два ряда цифр, соответствующих подключаемым контактам: внутренний ряд — до 350 А и наружный ряд — до 600 А.

Для выполнения сварочных работ при отсутствии электроэнергии (на новостройках, на монтажных работах в полевых условиях, при сварке газонепроводов, при установке мачт электропередач высокого напряжения и др.) применяют передвижные сварочные агрегаты, состоящие из сварочного генератора и двигателя внутреннего сгорания. Краткая техническая характеристика наиболее распространенных сварочных агрегатов с двигателями внутреннего сгорания дана в табл. 2.

На рис. 19 представлен сварочный агрегат этой группы ПАС-400-VIII. Агрегат состоит из генератора СГП-3-VI и двигателя внутреннего сгорания ЗИЛ-120 или ЗИЛ-164. Генератор работает по схеме с размагничивающей последо-

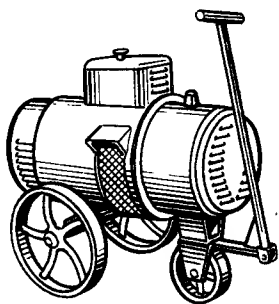


Рис. 18

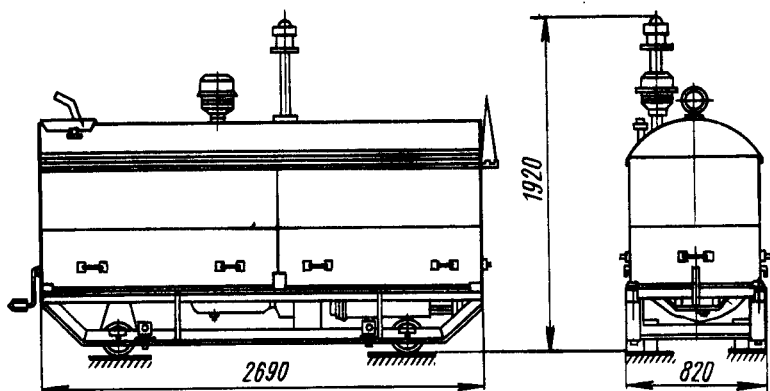


Рис. 19

вательной обмоткой. Регулирование тока производят реостатом цепи основной обмотки возбуждения. Двигатель сварочного агрегата специально переоборудован для режима длительной стационарной работы: он имеет автоматический центробежный регулятор скорости вращения; ручное регулирование для работы при малых скоростях; автоматическое выключение зажигания при внезапном увеличении скорости. Сварочный агрегат смонтирован на жесткой металлической раме с катками для перемещения. Наличие крыши и боковых металлических штор, защищающих от атмосферных осадков, позволяет использовать агрегат для работы на открытом воздухе.

Для сварки в защитных газах, а также для полуавтоматической и автоматической сварки применяют генераторы с жесткой или возрастающей внешней характеристикой. Такие генераторы имеют обмотки независимого возбуждения и подмагничивающую последовательную обмотку. При холостом ходе э. д. с. генератора наводится магнитным потоком, который создается обмоткой независимого воз-

буждения. При рабочем режиме сварочный ток, проходя через последовательную обмотку, создает магнитный поток, совпадающий по направлению с магнитным потоком обмотки независимого возбуждения. Тем самым обеспечивается жесткая или возрастающая вольт-амперная характеристика.

На рис. 20 представлен преобразователь такого типа ПСГ-350, состоящий из сварочного генератора постоянного тока ГСГ-350 и трехфазного асинхронного электродвигателя АВ-61-2 мощностью 14 кВт. Генератор имеет обмотку независимого возбуждения и подмагничивающую последовательную обмотку. Обмотка независимого возбуждения питается от внешней сети через селеновые выпрямители и стабилизатор напряжения, который исключает влияние колебаний напряжения в сети на ток возбуждения. Последовательная обмотка разделена на две секции: при включении в сварочную цепь части витков генератор работает на режиме жесткой характеристики, а при использовании всех витков обмотки генератор дает возрастающую внешнюю характеристику. Генератор и двигатель размещены в общем корпусе и смонтированы на тележке.

Таблица 2

Марка агрегата	Марка генератора	Номинальное напряжение, В	Пределы регулирования сварочного тока, А	Двигатель		Масса агрегата, кг
				тип	мощность, кВт (л. с.)	
АСБ-300-7	ГСО-300-5	30	75...320	ГАЗ-320	22,1 (30)	700
АСД-300	ГСО-300	30	75...320	5П4-4ч-8,5/11	14,7 (20)	980
АСД-3-1	СГП-3-VIII	40	120...600	ЯАЗ-М204Г	44,1 (60)	2500
АСДП-500	СГП-3-VIII	40	120...600	ЯАЗ-М204Г	44,1 (60)	5000
ПАС-400-VI,	СГП-3-VI	40	120...600	ЗИЛ-164	44,1 (60)	1900
ПАС-400-VIII		40	120...600	Д-108	79,4 (108)	14 350
СДУ-2	ГСМ-500	30	50...600			

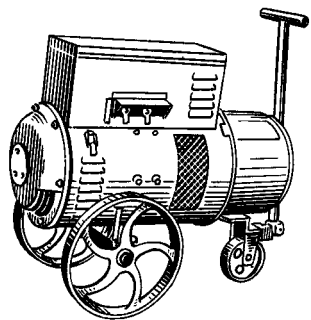


Рис. 20

Универсальные преобразователи ПСУ-300 и ПСУ-500-2, предназначенные для ручной сварки, автоматической сварки под флюсом, а также автоматической и полуавтоматической сварки в защитных газах, обеспечивают как падающую, так и жесткую внешнюю характеристику. В этих преобразователях, переключая независимую и последовательную обмотки генератора, можно создавать размагничивающий и подмагничивающий потоки и соответственно получать ту или иную характеристику.

При работе на строительной площадке или заводе нескольких сварочных постов, расположенных недалеко друг от друга, применяют **многопостовой сварочный преобразователь**. Внешняя характеристика многопостового сварочного генератора должна быть жесткой, т. е. независимо от количества работающих постов напряжение генератора должно быть постоянным. Для получения постоянного

напряжения многопостовой генератор (рис. 21) имеет параллельную обмотку возбуждения 1, создающую магнитный поток Φ_1 и последовательную обмотку 3, создающую магнитный поток Φ_2 того же направления.

При холостом ходе э. д. с. генератора индуцируется только магнитным потоком Φ_1 , так как в последовательной обмотке ток отсутствует. Напряжение генератора достаточно для зажигания дуги. Во время сварки появляется ток в обмотке якоря и, следовательно, в последовательной обмотке возбуждения. При этом появляется магнитный поток Φ_2 и э. д. с. будет индуцироваться суммарным потоком $\Phi_1 + \Phi_2$. Падение напряжения внутри генератора при рабочем режиме компенсируется увеличивающимся магнитным потоком, и поэтому напряжение остается равным напряжению холостого хода. Для получения падающей внешней характеристики сварочные посты включают в цепь генератора через регулируемые балластные реостаты 4. Напряжение генератора регулируют реостатом 2, включенным в цепь параллельной обмотки возбуждения. Сварочный ток устанавливают изменением сопротивления балластного реостата.

Многопостовой сварочный преобразователь ПСМ-1000 (рис. 22) состоит из сварочного генератора постоянного тока типа СГ-1000 и трехфазного асинхронного двигателя, смонтированных в одном корпусе. Генератор СГ-1000, шестиполусный, с самовозбуждением, имеет параллель-

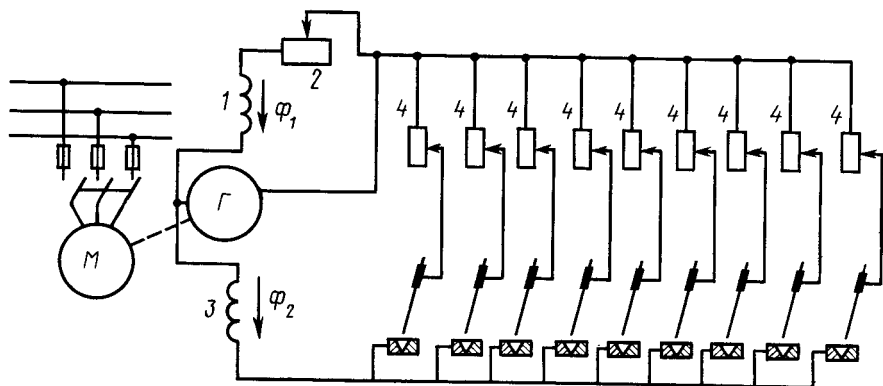


Рис. 21

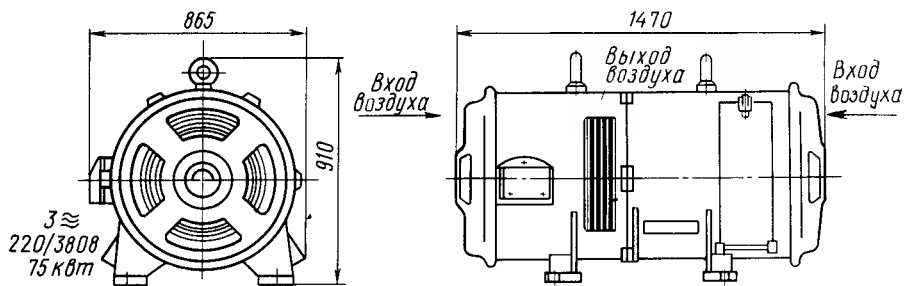


Рис. 22

ную и последовательную обмотки, создающие магнитные потоки одинакового направления. В комплект сварочной машины входят девять балластных реостатов РБ-200, позволяющих развернуть девять постов.

Преобразователи ПСМ-1000-I и ПСМ-1000-II существенных конструктивных отличий не имеют. Обмотки возбуждения генератора у ПСМ-1000-I изготовлены из меди, а у ПСМ-1000-II — из алюминия. Последней модификацией является ПСМ-1000-4, состоящий из генератора ГСМ-1000-4 и электродвигателя А2-82-2 мощностью 75 кВт. В комплект преобразователя входят балластные реостаты РБ-200-1 (9 шт.) или РБ-300-1 (6 шт.).

Балластный реостат РБ-200 (рис. 23) имеет пять рубильников, переключением которых устанавливают сопротивление реостата. Эти переключения позволяют регулировать сварочный ток ступенчато через каждые 10 А в пределах 10...200 А.

Применение многопостовых сварочных преобразователей уменьшает площади, занимаемые сварочным оборудованием, сокращает расходы на ремонт, уход и обслуживание. Однако к. п. д. сварочного поста значительно ниже, чем при однопостовом преобразователе, вследствие больших потерь мощности в балластных реостатах. Поэтому выбор одного многопостового или нескольких однопостовых сварочных агрегатов обосновывают технико-экономическим расчетом для конкретных условий.

Если экономически выгодно применение однопостовых сварочных агрегатов, но мощности одного генератора недостаточно для работы сварочного поста, включают параллельно два сварочных агрегата. При параллельном включении генераторов необходимо соблюдать следующие условия. Генераторы должны быть одинаковыми по типу и внешним характеристикам. До включения необходимо отрегулировать генераторы на одинаковое напря-

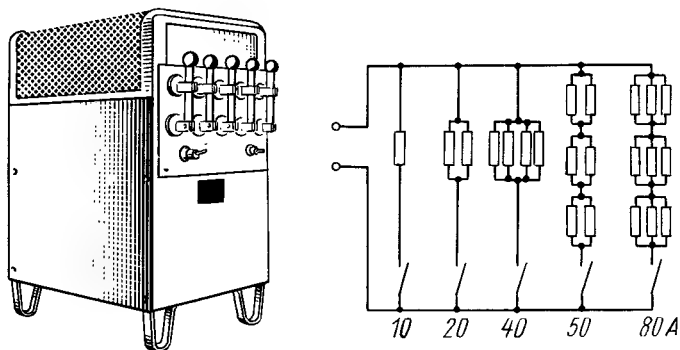


Рис. 23

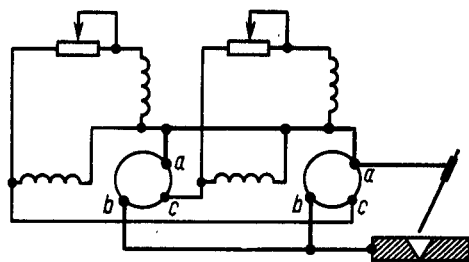


Рис. 242

жение холостого хода. После включения в работу следует с помощью регулирующих устройств установить по амперметру одинаковую нагрузку генераторов. При неодинаковой нагрузке напряжение одного генератора будет выше другого и генератор с низким напряжением, питаемый током второго генератора, будет работать как двигатель. Это приведет к размагничиванию полюсов генератора и выводу его из строя. Поэтому следует постоянно следить за показаниями амперметров и при необходимости регулировать равномерность нагрузки.

Для уравнивания напряжения параллельно работающих генераторов с падающими внешними характеристиками применяют перекрестное питание их цепей возбуждения: обмотки возбуждения одного генератора питаются от щеток якоря другого генератора (рис. 24). Для этой цели генераторы имеют уравнивательные контакты, которые надо при параллельной работе соединить между собой.

При параллельном включении многопостовых генераторов ПСМ-1000 необходимо клеммы на щитках генераторов ГС-1000, обозначенные буквой У (уравнивательный), соединить между собой проводом; при этом последовательные обмотки генераторов соединяются параллельно и, таким образом, исключаются колебания в распределении нагрузки между генераторами.

§ 6. Сварочные аппараты переменного тока

Сварочные аппараты переменного тока, применяемые на заводах и строительно-монтажных площад-

ках, подразделяют на четыре основные группы: сварочные аппараты с отдельным дросселем; сварочные аппараты со встроенным дросселем; сварочные аппараты с подвижным магнитным шунтом; сварочные аппараты с увеличенным магнитным рассеянием и подвижной обмоткой. Они отличаются по конструкции и по электрической схеме. Сварочные аппараты состоят из понижающего трансформатора и устройства—дросселя, подвижного магнитного шунта, подвижной обмотки—для создания падающей внешней характеристики и регулирования сварочного тока. Трансформатор обеспечивает питание дуги переменным током напряжением 60...70 В.

Сварочные аппараты с отдельным дросселем (рис. 25) состоят из понижающего трансформатора и дросселя (регулятора тока). Трансформатор *Тр* имеет сердечник (магнитопровод) *2* из пластин, отштампованных из тонкой трансформаторной стали толщиной 0,5 мм. На сердечнике расположены первичная *1* и вторичная *3* обмотки. Первичная обмотка из изолированной проволоки подключается к сети переменного тока напряжением 220 или 380 В. Во вторичной обмотке, изготовленной из медной шины, индуцируется напряжение 60...70 В. Небольшое магнитное рассеивание и малое омическое сопротивление обмоток обеспечивают незначительное внутреннее падение напряжения и высокий к.п.д. трансформатора. Последовательно с вторичной обмоткой в сварочную цепь включена обмотка *4* (из голый медной шины) дросселя *Др*. Обмотка имеет асбестовые прокладки, пропитанные теплостойким лаком. Сердечник дросселя также набран из пластин тонкой трансформаторной стали и состоит из двух частей: неподвижной *5*, на которой расположена обмотка дросселя, и подвижной *6*, перемещаемой с помощью винтовой пары *7*. При вращении рукоятки по часовой стрелке воздушный зазор *a* увеличивается, против часовой стрелки—уменьшается.

При возбуждении дуги (при коротком замыкании) большой ток, проходя через обмотку дросселя, создает

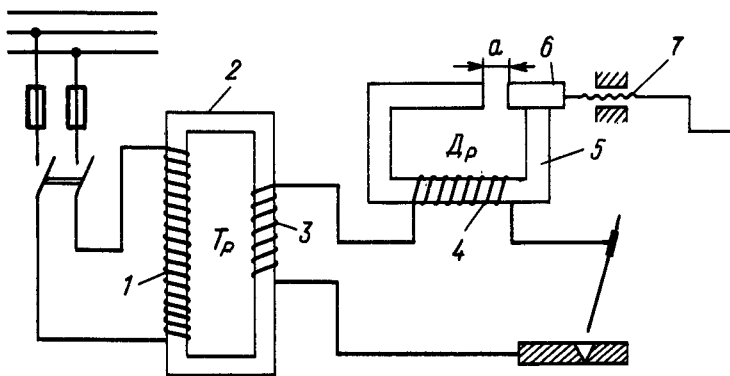


Рис. 25

мощный магнитный поток, наводящий э.д.с. дросселя, направленную против напряжения трансформатора. Вторичное напряжение, развиваемое трансформатором, полностью поглощается падением напряжения в дросселе. Напряжение в сварочной цепи почти достигает нулевого значения.

При возникновении дуги сварочный ток уменьшается; вслед за ним уменьшается э.д.с. самоиндукции дросселя, направленная против напряжения трансформатора, и в сварочной цепи устанавливается рабочее напряжение, необходимое для устойчивого горения дуги, меньшее, чем напряжение холостого хода. Изменяя зазор a между неподвижным и подвижным магнитопроводами, изменяют индуктивное сопротивление дросселя и тем самым ток в сварочной цепи. При увеличении зазора магнитное сопротивление магнитопровода дросселя увеличивается, магнитный поток ослабляется, уменьшается э.д.с. самоиндукции катушки и ее индуктивное сопротивление. Это приводит к возрастанию сварочного тока. При уменьшении зазора сварочный ток уменьшается. Один оборот рукоятки винтовой пары изменяет сварочный ток примерно на 20 А. По этой схеме изготовлены сварочные трансформаторы типа СТЭ. Трансформаторы СТЭ-24-У и СТЭ-34-У не сложны по устройству и безопасны в работе и поэтому их широко применяют при ручной дуговой сварке.

На рис. 26 представлен трансформатор СТЭ-34 с регулятором (дросселем) РСТЭ-34.

Трансформатор 1 и регулятор 2 заключены в отдельные кожухи из тонкой листовой стали с жалюзи для естественного охлаждения и установлены на колесики для перемещения. Первичная обмотка из изолированной проволоки размещена на двух катушках. Для включения трансформатора в сеть с напряжением 220 В обмотки катушек соединяют параллельно, а для сети напряжением 380 В — последовательно. Вторичная обмотка из голой медной шины расположена поверх первичной обмотки на тех же катушках. При этом вторичная обмотка соединена всегда последовательно. На торцевой стенке кожуха на клеммовой доске расположены выводы первичной обмотки, на другой торцевой стенке — выводы вторичной обмотки.

Сварочные аппараты со встроенным дросселем (рис. 27) имеют электромагнитную схему, разработанную акад. В. П. Никитиным. Магнитопровод трансформатора состоит из основного сердечника 1, на котором расположены первичная 2 и вторичная 6 обмотки собственно трансформатора, и добавочного сердечника 4 с

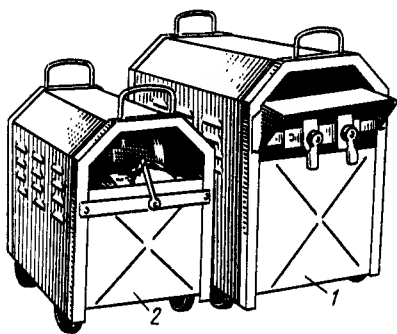


Рис. 26

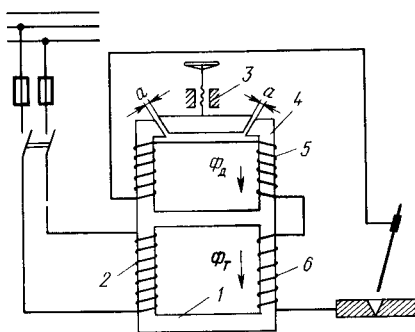


Рис. 27

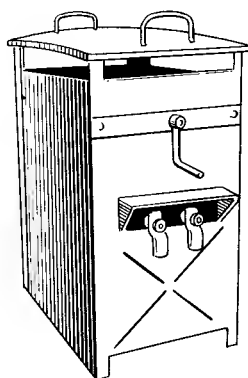


Рис. 28

обмоткой 5 дросселя (регулятора тока). Добавочный магнитопровод расположен над основным и состоит из неподвижной и подвижной частей, между которыми с помощью винтовой пары 3 устанавливается необходимый воздушный зазор a .

Магнитный поток, создаваемый обмоткой дросселя, может иметь попутное или встречное направление с потоком, создаваемым вторичной обмоткой трансформатора, в зависи-

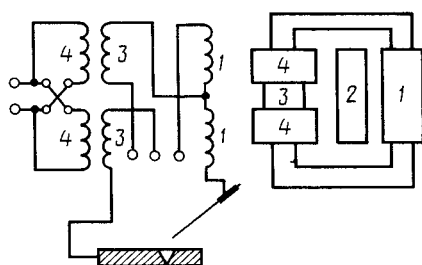


Рис. 29

мости от того, как включены эти обмотки. При встречном соединении магнитные потоки, возникающие при прохождении тока во вторичной обмотке трансформатора Φ_r и обмотке дросселя Φ_d , будут направлены навстречу друг другу. При этом напряжение холостого хода $U_{xx} = U_{rx} - U_{dx}$, где U_{rx} — напряжение во вторичной обмотке трансформатора, В; U_{dx} — напряжение в обмотке дросселя. При попутном включении магнитные потоки Φ_r и Φ_d будут иметь одинаковое направление и напряжение холостого хода $U_{xx} = U_{rx} + U_{dx}$.

Сварочный ток регулируют, изменяя воздушный зазор a ; чем больше зазор a , тем больше сварочный ток.

Сварочный аппарат СТН-500, представленный на рис. 28, предназначен для ручной дуговой сварки. Здесь применено встречное включение вторичной обмотки трансформатора и обмотки дросселя. Обмотки трансформатора размещены на двух катушках для включения в сеть с напряжением 220 и 380 В. Сварочный ток регулируют вращением рукоятки, как и в регуляторе типа РСТЭ. На торцах кожуха сварочного аппарата установлены клеммовые доски, к которым выведены с одной стороны концы первичной обмотки, а с другой — один конец вторичной обмотки и один конец обмотки дросселя. Для облегчения перемещения аппарат устанавливают на тележку. Сварочные аппараты СТН-500-1 отличаются от СТН-500 тем, что имеют алюминиевые обмотки.

Сварочные аппараты ТСД, применяемые главным образом при автоматической сварке, имеют дистанционное управление регулированием сварочного тока. Подвижная часть сердечника перемещается с помощью червячной передачи от электродвигателя, управляемого двумя магнитными пускателями. При включении одного из них сварочный ток возрастает, при включении другого — уменьшается. Для охлаждения аппарата установлен вентилятор с электродвигателем трехфазного тока мощностью 0,25 кВт.

Характеристика сварочных аппаратов с дросселем приведена в табл. 3.

Сварочные аппараты с увеличенным магнитным рассеянием и подвижным магнитным шунтом (рис. 29) имеют целый замкнутый магнитопровод, у которого на одном

Таблица 3

Марка сварочного аппарата	Напряжение, В			Пределы регулирования сварочного тока, А	Масса, кг	
	первичное	вторичное			трансформатора	дросселя
		холостого хода	номинальное			
СТЭ-24-У	220, 380	60	30	100...500	130	90
СТЭ-34-У	220, 380	60	30	150...700	160	100
СТН-350	220, 380	70	30	80...450	220	—
СТН-500	220, 380	60	30	150...700	260	—
СТН-700	220, 380	60	30	200...900	380	—
ТСД-500	220, 380	80	45	200...600	445	—
ТСД-1000-3	220, 380	80	42	400...1200	540	—
ТСД-2000	220, 380	85	59	800...2200	950	—

стержне расположены первичная 4 и вторичная 3 обмотки трансформатора, а на другом — реактивная обмотка 1. Между ними находится стержень — магнитный шунт 2. Шунт замыкает магнитные потоки, создаваемые первичной и реактивной обмотками. При этом образуются магнитные потоки рассеяния, которые создают значительное индуктивное сопротивление. Таким образом обеспечивается падающая внешняя характеристика трансформатора.

Сварочный ток регулируют, перемещая магнитный шунт вдоль направления магнитного потока. При выдвигении шунта рассеяние магнитных потоков первичной и реактивной обмоток уменьшается, вследствие чего уменьшается индуктивное сопротивление трансформатора. При этом сварочный ток возрастает. По такому принципу работают сварочные аппараты типа СТАН и СТШ.

Сварочные аппараты типа СТШ имеют магнитный шунт, состоящий из двух половин, которые могут сдвигаться и раздвигаться. При полностью сдвинутых половинах шунта сварочный ток будет минимальный. Если раздвигать половины шунта, то магнитный поток рассеяния уменьшается и поэтому сварочный ток возрастает. В строительстве и промышленности применяют сварочные аппараты СТШ-300, СТШ-500 и СТШ-500-80. Аппарат СТШ-500-80 отличается от первых двух типов тем, что имеет два диапазона сварочных токов (катушки

обмоток могут переключаться с последовательного соединения для малых сварочных токов на параллельное соединение для больших сварочных токов). Для монтажных работ рекомендуются аппараты легкого типа СТШ-250 массой 44 кг.

Характеристика сварочных аппаратов с подвижным магнитным шунтом приведена в табл. 4.

Сварочные аппараты с увеличенным магнитным рассеянием и подвижной обмоткой. Трансформатор имеет магнитопровод, на обоих стержнях которого расположены по две катушки: одна с первичной обмоткой, а вторая — со вторичной обмоткой. Катушки первичной обмотки закреплены неподвижно в нижней части сердечника, а катушки вторичной обмотки перемещаются по стержню с помощью винтовой пары. Сварочный ток регулируют изменением расстояния между первичными и вторичными обмотками. При увеличении этого расстояния магнитный поток рассеяния возрастает, а сварочный ток уменьшает-

Таблица 4

Марка сварочного аппарата	Потребляемая мощность, кВт · А	Вторичное напряжение, В	Пределы регулирования сварочного тока, А	Масса, кг
СТШ-250	15,3	61	80...260	44
СТШ-300	20,5	60	110...405	158
СТШ-500	33,0	60	145...650	220
СТШ-500-80	44,5	80	60...800	320

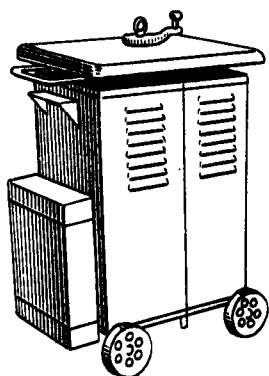


Рис. 30

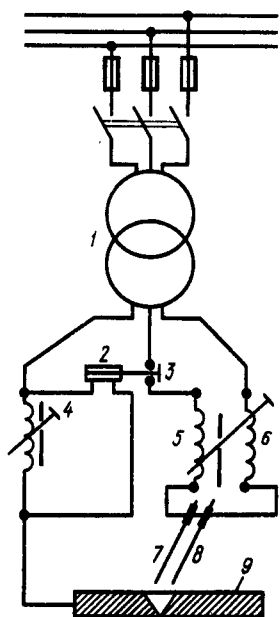
ся. По этому принципу изготовлены трансформаторы типа ТС (рис. 30), ТСК и ТД с алюминиевыми обмотками. Сварочные аппараты ТСК имеют конденсаторы, которые включены параллельно первичным обмоткам. Они способствуют повышению коэффициента мощности. Трансформаторы типа ТД имеют два диапазона сварочных токов: большие токи — при параллельном соединении первичных и вторичных обмоток и малые токи — при последовательном их соединении. Переключение обмоток

производится одновременно пакетным переключателем. В каждом диапазоне ток плавно регулируют, изменяя расстояние между катушками первичной и вторичной обмоток. Удобны для работы в условиях строительно-монтажной площадки трансформаторы ТД-304, отличающиеся от ТД-300 наличием устройства в виде дополнительной приставки для дистанционного регулирования сварочного тока. Характеристика сварочных аппаратов с подвижной обмоткой приведена в табл. 5.

Для строительно-монтажных работ очень удобны облегченные переносные сварочные аппараты ТСП-1 и ТСП-2. Они предназначены для сварки коротких швов, прихваток, т. е. при сварке с большими перерывами. Вторичная обмотка трансформатора ТСП-1 секционирована, что позволяет ступенчато регулировать сварочный ток переключением секций с помощью перемычки на бронеовой доске трансформатора. Масса сварочного аппарата ТСП-1 — 35 кг. Пределы сварочного тока 105...180 А. Масса аппарата ТСП-2 — 63 кг. Номинальный ток — 300 А.

Трехфазные сварочные аппараты применяют при сварке трехфазной дугой спаренными электродами. Процесс сварки осуществляется сварочными дугами, которые возбуждаются между каждым электродом и свариваемой деталью и между электродами. Аппарат (рис. 31) состоит из трехфазного трансформатора 1, регулятора сварочного тока и магнитного контактора 3. Первичная обмотка включается в силовую сеть напряжением

Таблица 5



Тип	Потребляемая мощность, кВт·А	Вторичное напряжение, В	Пределы регулирования сварочного тока, А	Масса, кг
ТС-120	12	68	50...160	90
ТС-300	20	63	110...385	180
ТС-500	32	60	165...650	250
ТСК-300	20	63	110...385	215
ТСК-500	32	60	165...650	280
ТД-300	19,4	61 и 79	60...400	137
ТД-500	32	60 и 76	85...700	210

220 В (соединение обмоток в треугольник) или 380 В (соединение обмоток в звезду). Вторичная обмотка имеет по две катушки на каждом стержне и выполнена из голой медной шины. Регулятор сварочного тока состоит из двух дросселей и трех обмоток. Две обмотки 5 и 6 расположены на одном магнитопроводе и подключены к спаренным в едином электрододержателе, но изолированным друг от друга электродам 7 и 8. Третья обмотка 4 расположена на втором магнитопроводе и подключена к свариваемой детали 9. Регулятор вмонтирован в общий корпус и снабжен двумя рукоятками, с помощью которых (изменением воздушных зазоров в магнитопроводах) регулируется сварочный ток. Одной рукояткой регулируют ток одновременно в обеих фазах, подключенных к электродам, а второй рукояткой — в фазе, подсоединенной к изделию.

Магнитный контактор 3 служит для включения цепи спаренных электродов. В начальный момент при возбуждении дуги сварочная цепь замыкается через свариваемую деталь и один из электродов (на рисунке электрод 8). Ток проходит по обмотке 4 регулятора и обмотке 2 контактора. Контактник включает обмотку 5 регулятора. Возникает вторая дуга. При отводе электродов от детали ток в обмотках 4 и 2 прекращается и контактор 3 выключает цепь обмотки 5, гасит дугу между электродами.

Трехфазный сварочный аппарат 3СТ конструкции проф. Н. С. Силунова имеет мощность 45 кВт·А, вторичное напряжение — 60 В, сварочный ток — 450 А. Заводом «Электрик» для ручной сварки выпущены трехфазные сварочные аппараты ТТС-400 на 400 А, состоящие из двух спаренных трансформаторов СТН в едином корпусе. Схема питания трехфазной сварочной дуги приведена на рис. 32. Для автоматической сварки заводом «Электрик» выпущены трехфазные сварочные аппараты ТТСД-1000 на 1000 А, состоящие из двух спаренных трансформаторов ТСД-1000-4.

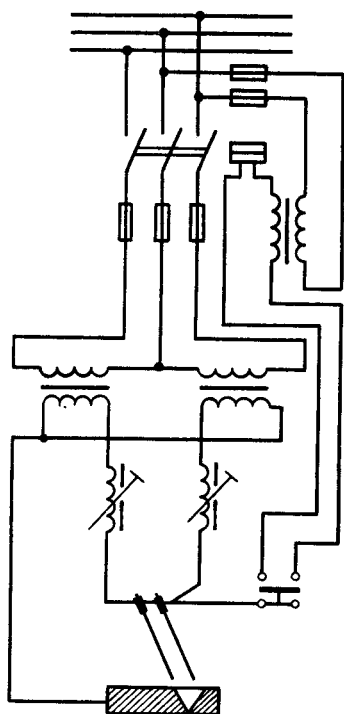


Рис. 32

Трехфазные сварочные аппараты обеспечивают высокую производительность, экономию электроэнергии (к.п.д. достигает 0,9) и равномерную загрузку фаз сети при высоком коэффициенте мощности ($\cos \varphi = 0,8$), однако ввиду сложности сварочного оборудования и трудностей при сварке потолочных и вертикальных швов применяются ограниченно.

При необходимости обеспечить большой сварочный ток и при отсутствии сварочных аппаратов достаточной мощности можно применять параллельное включение трансформаторов. Схема такого включения сварочных аппаратов представлена на рис. 33. Для параллельной работы нужно изменить трансформаторы с одинаковыми внешними характеристиками и напряжениями первичной и вторичной цепей. Одноименные концы первичных обмоток *a* соединяют между собой и общие клеммы 1 включают в силовую сеть переменного тока. Одноименные концы вторичной обмотки *b* также соединены между собой: клеммы 2 под-

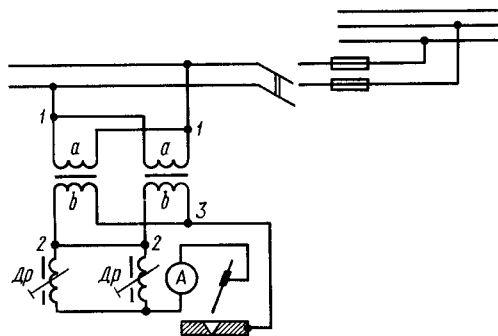


Рис. 33

ключают к дросселям *Др*, а клеммы 3 — к детали. Дроссели соединяют между собой также параллельно. Сварочный ток регулируют вращением рукояток дросселей так, чтобы обеспечить равенство нагрузок на трансформаторы. Равенство нагрузок проверяют амперметром.

В некоторых случаях для повышения устойчивости горения дуги, питаемой переменным током, применяют способ наложения на сварочный ток частотой 50 Гц токов высокой частоты (150...500 кГц) и высокого напряжения (1500...6000 В). Такие меры предпринимают при сварке тонкостенных изделий дугой малой мощности и при сварочном токе 20...40 А, а также при сварке в защитных газах, сварке специальных сталей и некоторых цветных металлов.

Для получения токов высокой частоты и высокого напряжения применяют *осцилляторы параллельного и последовательного включения*. Принципиальная схема осциллятора параллельного включения ОСПЗ-2М и его включения в сварочную цепь показана на рис. 34. Осциллятор ОСПЗ-2М включают непосредственно в питающую

сеть напряжением 220 В. Он состоит из повышающего (с 220 В до 6000 В) трансформатора ПТ и колебательного контура. Колебательный контур, состоящий из высокочастотного трансформатора ВЧТ, конденсатора C_5 и разрядника P , вырабатывает высокочастотный ток. Контур связан со сварочной цепью индуктивно через трансформатор ВЧТ, выводы вторичной обмотки которого присоединяют: один — к клемме «земля» выводной панели, а другой — ко второй клемме через конденсатор C_6 и предохранитель $Пр_2$. Конденсатор C_6 препятствует прохождению тока высокого напряжения и низкой частоты в сварочную цепь и служит для защиты сварщика в случае пробоя конденсатора C_5 . Предохранитель $Пр_2$ выключает осциллятор в случае пробоя конденсатора C_6 . Для устранения радиопомех в питающей сети осциллятор снабжен фильтром из двух защитных дросселей $Др_1$ и $Др_2$ и четырех конденсаторов C_1 , C_2 , C_3 и C_4 . Фильтр защищает цепь питания от токов высокой частоты. Для общей защиты от радиопомех осциллятор имеет экранирующий металлический кожух.

Осцилляторы последовательного включения (М-3, ОС-1) применяют в установках для дуговой сварки в защитных газах. Они обеспечивают более надежную защиту генератора (или силового выпрямительного блока) от пробоя высокочастотным напряжением осциллятора.

При применении осциллятора дуга загорается легко, даже без прикосновения электрода к изделию (при зазоре 1...2 мм), что объясняется предварительной ионизацией воздушного промежутка между электродом и свариваемой деталью.

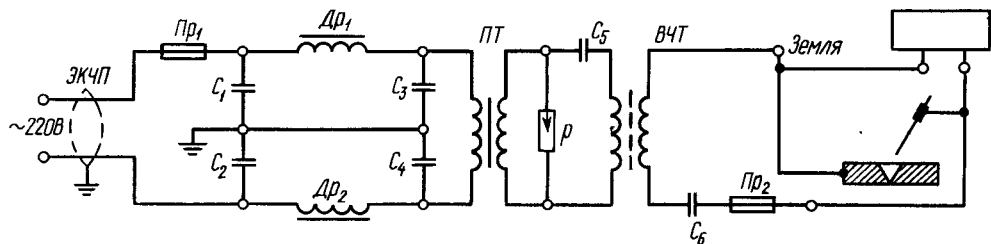


Рис. 34

Институтом электросварки им. Е. О. Патона разработан импульсный генератор ГИ-1, который подает ток высокого напряжения (200...300 В) импульсами в те моменты, когда напряжение в сварочной цепи переходит через нулевое значение. Такие генераторы более надежны в работе и более экономичны, чем осцилляторы, так как требуют меньше энергии.

§ 7. Сварочные выпрямители

Сварочные выпрямители получили большое распространение. Основные их преимущества следующие: высокий к.п.д. и относительно небольшие потери холостого хода; высокие динамические свойства при меньшей электромагнитной индукции; отсутствие вращающихся частей и бесшумность в работе; равномерность нагрузки фаз; небольшая масса; возможность замены медных проводов алюминиевыми. Однако следует иметь в виду, что для выпрямителей продолжительные короткие замыкания представляют большую опасность, так как могут выйти из строя диоды. Кроме того, сварочные выпрямители чувствительны к колебаниям напряжения в сети. Все же по основным технико-экономическим показателям сварочные выпрямители являются более прогрессивными, чем, например, сварочные преобразователи.

Сварочные выпрямители состоят из двух основных блоков: понижающего трехфазного трансформатора с устройствами для регулирования напря-

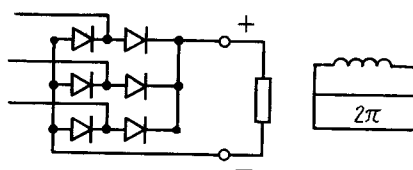


Рис. 35

жения или тока и выпрямительного блока. Кроме того, выпрямитель имеет пускорегулирующее и защитное устройства, обеспечивающие нормальную его эксплуатацию. Для выпрямления тока используется свойство полупроводникового вентиля проводить ток только в одном направлении. Наибольшее применение получили селеновые и кремниевые вентили. Селеновые вентили дешевле и выдерживают перегрузки. Кремниевые вентили обладают высокими энергетическими показателями и высоким к.п.д., но очень чувствительны к перегрузкам по току и поэтому требуют защитных устройств и интенсивного охлаждения.

Выпрямление тока осуществляется по трехфазной мостовой схеме Ларионова. Мост состоит из шести плёч, в каждом из которых установлены вентили, обеспечивающие выпрямление обоих полупериодов переменного тока в трех фазах (рис. 35).

Применяются различные типы сварочных выпрямителей (табл.6).

Сварочные выпрямители с жесткой внешней характеристикой типа ВС и ВДГ предназначены для сварки в защитном газе плавящимся электродом, автоматической и полуавтоматической сварки под флюсом, порошковой про-

Таблица 6

Марка выпрямителя	Напряжение, В			Пределы регулирования сварочного тока, А	Потребляемая мощность, кВт·А	К. п. д.	Масса, кг
	питающей сети	холостого хода	сварки				
ВС-300	380	20...40	20...40	30...300	21,5	70	250
ВС-500	380	21...53	16...40	50...500	31,0	75	350
ВСС-120-4	220, 380	57...63	25	15...130	8,6	68	180
ВСС-300-3	220, 380	58...65	30	40...320	21,5	66	240
ВКС-500-1	220, 380	65...78	40	80...550	37,0	75	385
ВД-102	220, 380	55...60	25	20...125	9,0	73	160
ВД-302	220, 380	50...60	32	40...320	21,0	67	220
ВСУ-300	220, 380	53...65	17...35	40...330	22,5	68	320
ВДУ-504	220, 380	72...78	18...50	70...500	40,0	82	365
ВДГ-301	380	16...32	30	40...315	21,0	72	210
ВЖ-2М	380	22...41	8...27	100...200	8,65	70	50

волокой и др. Они просты в устройстве и надежны в работе. Имея общую принципиальную схему, выпрямители этого типа отличаются в основном мощностью и числом ступеней регулирования. Выпрямители состоят из понижающего трехфазного трансформатора, выпрямительного блока, двух универсальных переключателей для переключения витков первичной обмотки трансформатора (для грубой и точной регулировки), дросселя (для обеспечения нарастания тока короткого замыкания и сглаживания пульсаций) и вентилятора.

Сварочные выпрямители с падающей внешней характеристикой выпускаются типа ВСС, ВКС и ВД. Сварочные выпрямители типа ВСС состоят из понижающего трехфазного трансформатора с подвижными обмотками, выпрямительного селенового блока с вентилятором, пускорегулирующей и защитной аппаратурой. Понижающий трансформатор выполнен с повышенным магнитным рассеянием, которое регулируется изменением расстояния между первичной и вторичной обмотками. Два диапазона регулирования сварочного тока получают, соединяя первичную и вторичную обмотки звездой (малые токи) и треугольником (большие токи). В пределах каждого диапазона ток плавно регулируют, изменяя расстояние между катушками первичной (нижней подвижной) и вторичной (верхней неподвижной) обмоток с помощью рукоятки. При вращении рукоятки по часовой стрелке катушки обмоток сближаются, индуктивность рассеяния уменьшается, сварочный ток увеличивается. Обмотки трансформатора выполнены из алюминия. Выпрямительный блок собран из селеновых пластин 100×400 мм, охлаждается вентилятором.

Сварочные выпрямители типа ВКС имеют следующие основные отличия от типа ВСС: выпрямительный блок составлен из кремниевых вентилей ВК-200; сварочный ток регулируют, перемещая катушки обмоток с помощью асинхронного двигателя с дистанционным управлением.

Широкое применение получили

сварочные выпрямители ВД-101 и ВД-301 с кремниевыми вентилями и ВД-102 и ВД-302 с селеновыми вентилями. Они несложны по устройству, обладают достаточно высоким коэффициентом полезного действия и имеют небольшую массу.

Сварочные выпрямители типа ВСУ и ВДУ являются универсальными источниками питания дуги. Они предназначены для питания дуги при автоматической и полуавтоматической сварке под флюсом, в защитных газах, порошковой проволокой, а также при ручной сварке. Выпрямители ВСУ, кроме обычных—блока трехфазного понижающего трансформатора и выпрямительного блока, имеют дроссель насыщения с четырьмя обмотками. Переключением этих обмоток можно получать жесткую, пологопадающую и крутопадающую внешние характеристики. Выпрямители ВДУ основаны на использовании в выпрямляющих силовых обмотках управляемых вентилей—тиристоров. Схема управления тиристорами позволяет получать необходимый для сварки вид внешней характеристики, обеспечивает широкий диапазон регулирования сварочного тока и стабилизацию режима сварки при колебаниях напряжения питающей сети.

Для сантехнических монтажных сварочных работ Институт электро-сварки им. Е. О. Патона разработал переносный сварочный выпрямитель ВЖ-2М, предназначенный для питания полуавтоматов и автоматов при сварке открытой дугой и в защитном газе стыков труб диаметром 20...100 мм. Внешняя характеристика — пологопадающая; число ступеней регулирования — 9; масса — 50 кг.

§ 8. Монтаж и обслуживание сварочного оборудования

Сварочный пост дуговой сварки — место производства сварочных работ — оснащается в зависимости от вида сварочных работ, выбранной технологии сварки и ряда других факторов.

На заводах, как правило, сварочные посты располагаются в специаль-

ных кабинках площадью не менее $2 \times 2,5 \text{ м}^2$ каждая. Кабину отгораживают перегородками, а вход закрывают занавесками, пропитанными огнестойким составом. В кабине устанавливают металлический стол с массивной чугунной или стальной крышковой площадью в 1 м^2 и винтовой стул с откидной спинкой. Кабина должна иметь местную вытяжную вентиляцию и заземляющий провод. При отсутствии общей заземляющей шины применяют индивидуальное заземление.

При сварке громоздких деталей и крупногабаритных сварных конструкций сварочные посты развертывают открыто в цехе, на строительномонтажной площадке, на магистральной трассе. При этом рабочее место по возможности ограждают защитными щитами или ширмами.

Основное оборудование сварочного поста состоит из источника питания дуги, сварочных проводов, принадлежности и инструментов сварщика.

Источники питания дуги размещают непосредственно на рабочем месте или группируют в машинном отделении сварочного цеха. В последнем случае в цехе на определенном расстоянии друг от друга располагают постоянные щитки с клеммами для подключения сварочных проводов. К щиткам ток подводится от источника питания постоянной проводкой. При наличии нескольких сварочных постов

рекомендуется использовать многопостовые сварочные агрегаты.

Сварочные многопостовые преобразователи ПСМ-1000 устанавливают на фундаменте. Допускается установка на временном фундаменте в виде жестко связанной деревянной рамы из брусьев (или бревен), к которой болтами крепят корпус сварочного преобразователя.

При наличии на строительномонтажной площадке электросиловой сети применяют передвижные сварочные преобразователи, аппараты переменного тока или сварочные выпрямители в зависимости от вида работ. Например, некоторые сорта легированных сталей лучше сваривать постоянным током. Ответственные сварочные работы, выполняемые особыми электродами, также требуют постоянного тока. В этих случаях применяют сварочные преобразователи. Однако они требуют более трудоемкого ухода и обслуживания, чем аппараты переменного тока. Сварочные трансформаторы получили более широкое применение благодаря простоте конструкции, меньшему расходу электроэнергии, высокому к.п.д. и другим экономическим показателям.

Приведенные в табл. 7 сравнительные данные позволяют оценить преимущество сварочных аппаратов переменного тока.

При отсутствии электросиловой сети (при монтаже мачт высоковольт-

Таблица 7

Показатели	Постоянный ток		Переменный ток
	однопостовой преобразователь	многопостовой преобразователь	сварочный аппарат

Удельный расход электроэнергии на 1 кг наплавленного металла, кВт·ч	4,6	5...8	3,5...4
Стоимость энергии, %	100	120...140	50...60
Стоимость оборудования, %	100	60...80	20...30
Стоимость ухода и обслуживания, % от стоимости оборудования	6	—	3
Мощность холостого хода, кВт	2...3	—	0,2
Средний к.п.д.	0,3...0,6	0,25...0,4	0,8...0,85
Средний коэффициент мощности	0,6...0,7	0,8...0,9	0,3...0,4
Средний коэффициент использования оборудования	0,4...0,8	1,0	0,4...0,8
Занимаемая площадь на 1 пост, м ²	4,5...4,6	—	1,5

ных линий, прокладке трубопроводов и пр.) применяют сварочные агрегаты с двигателем внутреннего сгорания типа САК, АСБ, АСД, ПАС, РСДУ.

В процессе эксплуатации источника сварочного тока требуют систематического ухода и обслуживания. Это гарантирует их длительную и надежную работу. Перед включением источника тока необходимо выполнить следующие работы: очистить его от пыли и грязи, осмотреть и при наличии мелких дефектов устранить их.

В сварочных преобразователях постоянного тока особого ухода требует коллектор, щеточный механизм и подшипники. Коллектор должен быть чистым, без следов нагара. Слюдяные прокладки не должны выступать между пластинками. Ежедневно (при необходимости чаще) перед пуском в ход необходимо протирать коллектор полотняной тряпкой, смоченной в бензине. При обнаружении нагара прежде всего следует выяснить и устранить причину появления нагара, а затем шлифовать коллектор на ходу при поднятых щетках равномерно по всей рабочей поверхности. Для шлифования применяют мелкозернистую прессованную пемзу или мелкую стеклянную бумагу, натянутую на деревянную колодку, хорошо облегающую рабочую поверхность коллектора. Выступающие слюдяные прокладки необходимо осторожно выбрать специальной пилой на глубину 1 мм и затем зачистить поверхность коллектора от заусенцев и шлифовать. После шлифования следует аккуратно протереть коллектор, не допуская попадания пыли в машину.

Щеточный механизм требует регулярной проверки. Щетки должны плотно прилегать к чистой поверхности коллектора. Изношенные или поврежденные щетки подлежат замене. Новую щетку необходимо притереть к коллектору. Для этого щетку устанавливают на место; между нею и коллектором вводят полоску стеклянной бумаги (стеклом к щетке) в направлении вращения коллектора. Рабочую поверхность щетки притирают к коллек-

тору до полного прилегания при нормальном нажатии пружины щеткодержателя. Образующуюся пыль удаляют, продувая воздухом, а для окончательной шлифовки щеток генератор включают на холостом режиме.

Подшипники генератора и электродвигателя требуют не реже двух раз в год тщательной промывки и смазки. Ежедневно в процессе эксплуатации следует внимательно следить за состоянием смазочного материала и при необходимости заменять его или доливать. Нарушения в работе подшипников обнаруживаются по нагреву и ненормальному шуму.

У аппаратов переменного тока следует регулярно проверять состояние контактов, изоляции и крепежных деталей сердечника и кожуха. Необходимо чаще смазывать регулировочный механизм. При перемещении аппарата необходимо пользоваться ручками или подъемными кольцами кожуха трансформатора.

У сварочных выпрямителей особого внимания требует система охлаждения (вентилятор, жалюзи, реле), неисправность которой приводит к перегреву полупроводниковых элементов и выходу из строя выпрямителя. Кроме того, следует проверять подтяжку крепежных деталей, наличие и надежность крепления заземляющего провода, правильно подбирать и надежно присоединять сварочные провода от генератора к свариваемому изделию и к электрододержателю.

Сварочные выпрямители через каждые три месяца нужно очищать от грязи и пыли, продувая их сухим сжатым воздухом. Все трущиеся части механизмов выпрямителя необходимо смазывать два раза в год. Важно также не допускать перегрузки выпрямителя.

Устанавливать источники питания следует в местах, безопасных от механического повреждения и воздействия высоких температур. При работе на открытом воздухе необходимо принимать меры по защите от осадков.

Неисправности сварочного оборудования и способы их устранения:

А. Сварочные преобразователи постоянного тока

Неисправность

Причина

Устранение

Электродвигатель при пуске не вращается и гудит или вращается очень медленно

Перегорел плавкий предохранитель одной из фаз питания

Заменить перегоревший предохранитель

Плохой контакт в щетках

Пригнать щетки или шлифовать стеклянной бумагой. Проверить нажатие пружины

Разрыв в обмотках статора или ротора двигателя или в пусковом сопротивлении

Двигатель подлежит отправке в ремонтную мастерскую

Неправильно подключены фазы питания

Переключить любые две фазы питания

Электродвигатель вращается в обратную сторону

Искрение щеток на коллекторе генератора

Загрязнение коллектора, слабое нажатие пружин, плохая шлифовка щеток к коллектору, выкрашивание щеток, расположение щеток не по нейтрали

Зачистить коллектор, заменить или отрегулировать пружины, шлифовать щетки к коллектору, заменить негодные щетки

Коллектор неровный или имеет выступающие слюдяные прокладки, перекошенная траверса

Отправить коллектор в ремонтную мастерскую на проточку и правку щеточной траверсы

Генератор не дает нажатия

Нарушен контакт, обрыв в цепи обмотки возбуждения

Индуктором или лампой найти обрыв и устранить. Исправить контакт в цепи шунтовой обмотки возбуждения

Прочистить коллектор

Загрязненный коллектор, щетки не контактируют, генератор размагнитился

Генератор размагнитился

Намагнитить генератор, предварительно определив правильное направление намагничивающего тока, затем обмотку возбуждения присоединить к сварочному генератору постоянного тока

Якорь генератора нагревается

Сварочный ток больше допустимого

Прекратить работу, дать остыть якорю и затем работать на допустимых токах

Короткое замыкание между витками обмотки якоря. Короткое замыкание между пластинами якоря

Отправить генератор в ремонтную мастерскую

Перегрев обмотки возбуждения

Большой ток возбуждения

Заменить регулирующий реостат или добавить сопротивление к реостату

Короткое замыкание между витками обмотки

Передать генератор в ремонтную мастерскую

Перегрев подшипников скольжения

Загрязнение масла, недостаточность смазки

Заменить масло, добавить до необходимого уровня

Смазочное кольцо не вращается

Заменить или выправить кольцо

Шум и скрежет в подшипниках качения, особенно при пуске и остановке

Выкрашивание подшипника

Заменить подшипник; при необходимости отправить в мастерскую для проверки вала якоря

Б. Аппараты переменного тока

Сильный нагрев обмоток трансформатора

Неправильное включение первичной обмотки

Проверить и исправить включение в сеть

Большой сварочный ток

Уменьшить сварочный ток до нормы

Замыкание между витками обмотки

Сдать трансформатор на перематку обмоток

Нагрев зажимов трансформатора	Слабая затяжка контактных болтов Мало сечение провода в месте контакта Ослабление болтов, стягивающих сердечник. Ослабление винтов кожуха	Затянуть контактные болты Заменить провод на большее сечение Устранить все нарушения механических креплений
Сильное гудение трансформатора	Ослабление натяжения пружины	Усилить натяжение пружины
Сильное гудение дросселя	Ослабление винтового привода	Укрепить винтовой привод
Дроссель не регулирует сварочный ток	Замыкание в обмотке дросселя	Сдать дроссель в ремонтную мастерскую
Наиболее опасным является повреждение изоляции обмотки трансформатора, которое может привести к контакту между обмоткой и корпусом или между обмотками и, как следствие, — к поражению сварщика электрическим током. Исправность обмоток и ее изоляции необходимо систематически проверять.		

В. Сварочные выпрямители

Выпрямительная установка не дает напряжения	Не работает вентилятор или воздух засасывается не со стороны жалюзи Неисправно реле вентилятора Вышел из строя один из вентиляций выпрямительного блока	Проверить работу вентилятора. Переключением проводов сети, питающей вентилятор, установить правильное направление воздуха Проверить работу реле. При необходимости — заменить реле Проверить все вентили с помощью тестера. Заменить неисправный вентиль Заменить предохранитель
Электродвигатель вентилятора не работает, гудит	Сгорел один из предохранителей сети питания Обрыв в цепи питания электродвигателя	Проверить целостность проводки цепи питания и устранить обрыв

Сварочные провода выбирают в зависимости от наибольшего допустимого сварочного тока. Практика показала, что характер сварочных работ допускает некоторую перегрузку проводов и рекомендует следующие нормы:

Наибольшее значение сварочного тока, А	200	300	450	600
Площадь сечения проводов, мм ² :				
одинарного	25	50	70	95
двойного	—	2×16	2×25	2×35

Эти нормы установлены при длине сварочных проводов не более 30 м. При работах на строительных площадках длина проводов может достигать 100...150 м. При этом падение напряжения может быть значительным. Па-

Таблица 8

Типы источников питания дуги	Площадь сечения проводов, мм ² , при напряжении в сети			
	220 В		380 В	
	медных	алюминиевых	медных	алюминиевых
ПС-300М, ПСО-300, ПСУ-350, СТШ-250, ВС-300, ВД-301, ВСС-300-3	10	16	4	6
ПС-500, ПСО-500, ПСУ-500, ТС-300, ВКС-500	16	25	10	16
ПСГ-500, ТС-500, СТШ-500, ВС-600	35	50	16	25
ТСД-500, СТН-700, СТШ-500-80	50	70	25	35
ТСД-1000, ПСМ-1000, ВКСМ-1000	120	150	50	70

дение напряжения (U) в проводе определяют по формуле

$$U_l = 1,73 I \rho L / S,$$

где I — сварочный ток, А; ρ — удельное сопротивление провода; Ом · м; L — длина провода, м; S — площадь сечения провода, мм².

Если U_l больше допустимых 5%, необходимо увеличить сечение провода.

Подбирать провода для присоединения источника сварочного тока к питающей силовой сети можно по данным табл. 8.

Тип	ЭД-12	ЭД-20	ЭД-25	ЭД-31	ЭД-40	ЭД-50
Номинальный ток, А	125	200	250	315	400	500
Сечение одножильного токопроводящего кабеля, мм ²	16 и 25	25 и 35	35 и 50	35 и 50	50 и 70	70 и 90

Электрододержатели должны выдерживать 8 тыс. зажимов электрода при затратах времени на каждую замену не более 4 с. Электрододержатели для тока 500 А должны иметь щиток для защиты руки сварщика от воздействия электрической дуги.

2. Щитки (рис. 37, а), маски (рис. 37, б) или шлемы (рис. 37, в) служат для защиты глаз и лица сварщика от излучения сварочной дуги и брызг металла. В них имеется смотровое отверстие, в которое вставляют светофильтр, задерживающий инфракрасные и ультрафиолетовые лучи и снижающий яркость световых лучей дуги. Снаружи светофильтр защищен от брызг металла простым прозрачным стеклом.

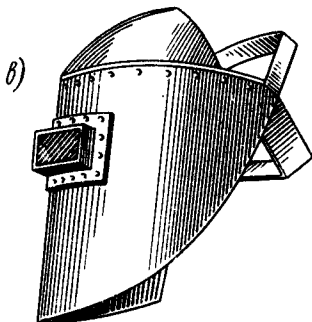
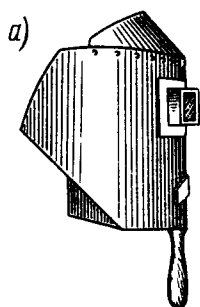


Рис. 37

Если длина провода значительна, необходимо проверить падение напряжения по вышеприведенной формуле и скорректировать сечение провода.

Принадлежности и инструмент сварщика: 1. Электрододержатели служат для зажима электрода и подвода к нему сварочного тока (рис. 36). Они должны прочно удерживать электрод, обеспечивать удобное и прочное закрепление сварочного кабеля, а также быстрое удаление огарка и закладку нового электрода. Электрододержатели изготовляют по ГОСТ 14651—78 следующих типов:

3. Металлические щетки (ручные и с электроприводом) для зачистки, разделки швов и очистки сварных швов от шлака.

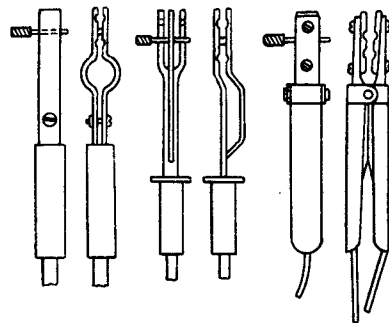


Рис. 36

4. Молоток, зубило, крепежный инструмент.

5. Набор шаблонов для контроля размеров швов.

6. Стальные клейма для клеймения сварных швов.

Индивидуальные защитные средства сварщика. Для защиты тела от ожогов сварщик пользуется брезентовым костюмом, брезентовыми рукавицами и кожаной или валяной обувью. Брюки должны быть гладкими, без отворотов с напуском поверх ботинок или валенок. Рукавицы должны иметь напуск на рукава и завязываться тесьмой. Прямая одежда и отсутствие открытых частей тела исключают возможность попадания

брызг металла на тело и в складки спецодежды. Кроме спецодежды к средствам индивидуальной защиты сварщика относятся: пояс предохранительный с ляжками (при работе на высоте), резиновые диэлектрические шлем, перчатки, сапоги (или галоши), коврики. При сварке внутри резервуаров, баков, цистерн необходимо пользоваться резиновыми сапогами и резиновым шлемом. При сварке металлических конструкций, если сварщик работает лежа, сидя или стоя на элементах свариваемой конструкции, кроме резиновых сапог (или галош) и шлема необходимы резиновые коврики, а также наколенники и подлокотники, подшитые войлоком.

ГЛАВА 4

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ СВАРКЕ

§ 9. Понятие о свариваемости

Процесс сварки представляет собой сочетание нескольких одновременно протекающих процессов, которые определяют качество получаемого сварного соединения. К этим процессам относятся: нагрев металла околошовных участков, плавление, кристаллизация основного металла или взаимная кристаллизация основного и присадочного (или электродного) металлов. Протекание этих процессов определяется в основном свойствами свариваемых металлов. Однако такие факторы, как слишком высокая температура, очень большие скорости охлаждения, необоснованный выбор присадочного металла и режима сварки, могут значительно снизить качество сварного соединения. При разнородных металлах процесс взаимной кристаллизации может не произойти, вследствие чего сварка таких металлов не может быть осуществлена.

Свариваемостью называется свойство или сочетание свойств металлов образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия.

Большое влияние на свариваемость металлов и сплавов оказывает их химический состав. Это особенно наглядно видно на примере железоуглеродистых сплавов. Свариваемость углеродистой стали изменяется в зависимости от содержания основных примесей. Углерод является наиболее важным элементом в составе стали, определяющим почти все основные свойства стали в процессе обработки, в том числе и свариваемость. Низкоуглеродистые стали ($C < 0,25\%$) свариваются хорошо. Среднеуглеродистые стали ($C < 0,35\%$) также свариваются хорошо. Стали с содержанием $C > 0,35\%$ свариваются хуже. С увеличением содержания углерода в стали свариваемость ухудшается. В околошовных зонах появляются закалочные структуры и трещины, а шов получается пористым. Поэтому для получения качественного сварного соединения возникает необходимость применять различные технологические приемы. Марганец не затрудняет сварку стали при содержании его 0,3...0,8%. Однако при повышенном содержании марганца (1,8...2,5%) прочность, твердость и закаливаемость стали возрастают, и это спо-

состоит из образования трещин. При сварке высокомарганцовистых сталей (11 ... 16% Mn) происходит выгорание марганца, поэтому его восполняют, используя электродные покрытия и флюсы с повышенным содержанием марганца. Кремний содержится в обычной углеродистой стали в пределах 0,02 ... 0,3% и существенного влияния на свариваемость не оказывает. При повышенном содержании (0,8 ... 1,5%) кремний затрудняет сварку, так как придает стали жидкотекучесть и образует тугоплавкие оксиды и шлаки. Сера является самой вредной примесью стали. Содержание серы в стали допускается не более 0,05%. Сера образует в металле сульфид железа, который имеет более низкую температуру плавления, чем сталь, и плохо растворяется в расплавленной стали. При кристаллизации частицы сульфида железа располагаются между кристаллами металла и способствуют образованию горячих трещин. Фосфор является также вредной примесью. Фосфор ухудшает свариваемость стали, так как образует хрупкий фосфид железа, придающий стали хладноломкость. Содержание фосфора в стали не превышает 0,05%.

Свариваемость стали принято оценивать по следующим показателям: склонность металла шва к образованию горячих и холодных трещин; склонность к изменению структуры в околошовной зоне и к образованию закалочных структур; физико-механические свойства сварного соединения; соответствие специальных свойств (жаропрочность, износостойкость и др.) сварного соединения техническим условиям.

Свариваемость определяют двумя основными методами, разработанными МВТУ им. Баумана (валиковая проба) и Кировским (г. Ленинград) заводом. Валиковая проба заключается в следующем: изготавливают образцы, на которые наплавляют по одному валику при различной погонной энергии от $419 \cdot 10^3$ до $838 \cdot 10^4$ Дж/м. Обработанные и протравленные образцы подвергают макро- и

микроисследованиям, а затем механическим испытаниям на загиб и ударную вязкость. Результаты исследования позволяют не только оценить свариваемость стали по многим показателям, но и установить оптимальные режимы сварки.

По методу, разработанному Кировским заводом, исследование проводят на образцах из толстолистовой стали. Пластины размером 130×130 мм имеют в середине выточки диаметром 90 мм, при этом оставшиеся доньшки у выточек должны иметь толщину 2, 4 и 6 мм. В выточки по диаметру наплавляют валик и в процессе наплавки пластины охлаждают с наружной стороны проточной водой или струей воздуха. Стали считаются сваривающимися хорошо, если трещины отсутствуют; удовлетворительно, если трещины образуются при охлаждении водой, но отсутствуют при охлаждении воздухом; ограниченно, если сталь для предупреждения образования трещин требует предварительного подогрева до $100 \dots 150^\circ \text{C}$ и охлаждения на воздухе. Плохо сваривающиеся стали требуют предварительного подогрева до 300°C и выше.

Углеродистые стали по свариваемости можно условно подразделить на следующие группы: хорошо сваривающиеся стали: Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4 (ГОСТ 380—71), 08, 10, 15, 20, 25 (ГОСТ 1050—74); удовлетворительно сваривающиеся стали: Ст5 (ГОСТ 380—71), 30, 35 (ГОСТ 1050—74); ограниченно сваривающиеся стали: Ст6, Ст7 (ГОСТ 380—71), 40, 45, 50 (ГОСТ 1050—74); плохо сваривающиеся стали: 60Г, 65Г, 70Г, 65, 70, 75, 80, 85 (ГОСТ 1050—74).

В сварных строительных конструкциях используются главным образом стали первой группы. Стали Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4 применяют при изготовлении различных строительных конструкций, арматуры железобетонных изделий, горячекатаных и сварных труб с прямым и спиральным швом; из стали Ст3 изготавливают бункера, резервуары, газгольдеры, конструкции доменного комплекса, балки различных перекрытий; стали

10, 15, 20, 25 используют для изготовления горячекатаных труб. Эти стали хорошо поддаются сварке и образуют сварной шов без хрупких структур и пористости.

§ 10. Основные реакции в зоне сварки

Под воздействием теплоты электрической дуги происходит расплавление кромок свариваемого изделия, электродного (или присадочного) металла и покрытия или флюса. При этом образуется сварочная ванна расплавленного металла, окруженная относительно холодным металлом (иногда значительной толщины) и покрытая слоем расплавленного шлака. При сварке происходит взаимодействие расплавленного металла со шлаком, а также с выделяющимися газами и воздухом. Это взаимодействие начинается с момента образования капели металла электрода и продолжается до полного охлаждения наплавленного металла шва.

Основные особенности металлургических процессов, протекающих при сварке, определяются следующими условиями: высокой температурой процесса, небольшим объемом ванны расплавленного металла, большими скоростями нагрева и охлаждения, отводом теплоты в окружающий ванну основной металл и, наконец, интенсивным взаимодействием расплавленного металла с газами и шлаками в зоне дуги.

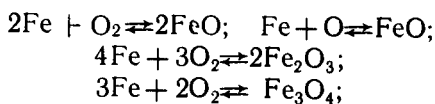
Высокая температура сварочной дуги значительно ускоряет физико-химические процессы, происходящие при плавлении металла. Она вызывает также в объеме дуги диссоциацию (распад) молекул кислорода, азота и паров воды. В атомарном состоянии газы, обладая большой химической активностью, интенсивно взаимодействуют с расплавленным металлом шва. Высокая температура способствует выгоранию примесей и тем самым изменяет химический состав свариваемого металла.

Небольшой объем ванны расплавленного металла (при ручной сварке — 0,5 ... 1,5 см³, при автомати-

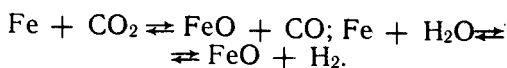
ческой сварке 24 ... 300 см³) и интенсивный отвод теплоты в окружающий ванну металл не дают возможности полностью завершиться всем реакциям взаимодействия между жидким металлом, газами и расплавленным шлаком. Большие скорости нагрева и охлаждения значительно ускоряют процесс кристаллизации, приводят к образованию закалочных структур, трещин и других дефектов. Под воздействием теплоты происходят структурные изменения в металле околошовной зоны, которые приводят к ослаблению сварного шва.

Рассмотрим взаимодействие расплавленного металла с газовой средой и расплавленным шлаком. Газовая среда состоит главным образом из кислорода, азота и водорода.

Кислород поступает в зону сварки из воздуха и из электродного покрытия. Взаимодействуя с расплавленным металлом, кислород в первую очередь окисляет железо. Находясь в зоне дуги как в молекулярном, так и в атомарном состоянии, кислород образует с железом три оксида FeO (II), Fe₂O₃ (III) и Fe₃O₄. Взаимодействие протекает по следующим реакциям:



В процессе окисления железа участвуют также находящиеся в зоне дуги диоксид углерода (CO₂) и пары воды:



Из соединений железа с кислородом наибольшее влияние на свойства стали оказывает оксид FeO (II), так как только он растворяется в железе. Растворимость его зависит главным образом от содержания углерода в стали и температуры: с увеличением содержания углерода в стали растворимость снижается; с ростом температуры растворимость повышается. Поэтому при охлаждении стали происходит выпадение из раствора оксидов FeO (II). При высо-

ких скоростей охлаждения часть оксидов FeO (II) остается в растворе, образуя шлаковые прослойки между зернами металла.

Окисление примесей, содержащихся в стали, происходит либо непосредственно в дуге, либо при взаимодействии с оксидом FeO (II), растворенным в сварочной ванне. Значительное сродство углерода, марганца и кремния к кислороду приводит к сильному уменьшению содержания этих примесей в расплавленном металле шва. Таким образом, кислород находится в стали главным образом в виде оксидов железа, марганца и кремния.

В кипящей низкоуглеродистой стали Ст3 кислорода содержится 0,001 ... 0,002%, а в спокойной стали — 0,03 ... 0,08%. В металле шва при сварке незащищенной дугой содержание кислорода достигает 0,3%, а при сварке защищенной дугой — 0,05%.

Азот в зону сварки проникает из окружающего воздуха. В зоне дуги азот находится как в молекулярном, так и в атомарном состоянии. Атомарный азот более активно растворяется в расплавленном металле сварочной ванны, чем молекулярный. Растворимость его зависит от температуры. При охлаждении свариваемого шва азот, выделяясь из раствора, взаимодействует с металлом шва и образует химические соединения: нитриды железа (Fe_2N , Fe_4N), марганца (MnN) и кремния (SiN). При больших скоростях охлаждения азот не успевает полностью выделиться и составляет с металлом пересыщенный твердый раствор. Такой азот со временем является причиной старения металла и снижения его механических свойств.

В низкоуглеродистой стали азота содержится до 0,006%, в металле шва при сварке незащищенной дугой содержание азота достигает 0,2%, а при сварке защищенной дугой — 0,03%. Азот является вредной примесью стали, так как, повышая прочность и твердость, он вместе с этим значительно снижает пластичность и вязкость металла.

Водород в зоне сварки образу-

ется во время диссоциации водяных паров при высоких температурах дуги. Пары воды попадают в зону дуги из влаги электродного покрытия или флюса, ржавчины и окружающего воздуха. Молекулярный водород распадается на атомарный, который хорошо растворяется в расплавленном металле. Растворимость водорода в железе в значительной степени зависит от температуры металла. При температуре 2400°С насыщение достигает максимального значения (43 см³ водорода на 100 г металла). При высоких скоростях охлаждения металла водород переходит из атомарного состояния в молекулярное, но полностью выделиться из металла не успевает. Это вызывает пористость и мелкие трещины, пластичность металла снижается.

Таким образом, физико-химические процессы, происходящие в зоне дуги, в значительной степени определяют качество металла шва, а отсюда и качество сварного соединения.

Для получения сварного шва высокого качества необходимо принять меры по защите расплавленного металла сварочной ванны от воздействия кислорода, азота и водорода. Сварочную ванну защищают, создавая газовую оболочку вокруг дуги и шлаковый слой над ванной расплавленного металла. Однако эти меры полностью не предохраняют от насыщения металла кислородом и образования оксидов. Поэтому необходимо проводить раскисление металла и удаление образовавшихся оксидов из сварочной ванны.

Жидкий металл сварочной ванны раскисляют, вводя в него элементы, имеющие большое сродство к кислороду: алюминий, титан, кремний, углерод, марганец. Эти элементы вводят в сварочную ванну либо в виде электродной проволоки (или присадочного металла), либо электродного покрытия, либо флюса.

Алюминий как раскислитель применяется редко, так как он образует тугоплавкие оксиды, придающие стали склонность к образованию трещин. Раскисление алюминием проте-

кает по реакции $3\text{FeO} + 2\text{Al} = 3\text{Fe} + \text{Al}_2\text{O}_3$.

Титан является активным раскислителем и поэтому широко применяется в различных электродных покрытиях. Раскисление протекает по реакции $2\text{FeO} + \text{Ti} = 2\text{Fe} + \text{TiO}_2$.

Кроме того, титан образует нитриды, снижая содержание азота в металле.

Кремний — очень хороший раскислитель и входит в электродные покрытия и флюсы в виде ферросилиция и кварцевого песка. Раскисление кремнием происходит по реакции $2\text{FeO} + \text{Si} = 2\text{Fe} + \text{SiO}_2$. Кроме того, протекает реакция образования силикатов $\text{SiO}_2 + \text{FeO} = \text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$. Полученные оксид SiO_2 и силикат оксида железа (II) не растворяются в железе и выходят в шлак.

Углерод образует с кислородом газообразный оксид углерода (CO), который в стали не растворяется, а выделяется в виде пузырьков. При больших скоростях охлаждения оксид углерода не успевает выделиться из металла шва, образуя в нем газовые поры. Раскисление протекает по реакции $\text{FeO} + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO}$. Для предупреждения пористости рекомендуется вводить в сварочную ванну кремний в таком количестве, чтобы подавить раскисляющее действие углерода.

Марганец является наиболее распространенным активным раскислителем. Он входит во многие электродные покрытия и флюсы. Раскисление проходит по реакции $\text{FeO} + \text{Mn} = \text{Fe} + \text{MnO}$. Оксид марганца взаимодействует с оксидом кремния и образует нерастворяющийся в стали силикат оксида марганца по реакции $\text{MnO} + \text{SiO}_2 = \text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$. Кроме того, марганец способствует удалению серы из стали по реакции $\text{FeS} + \text{Mn} = \text{MnS} + \text{Fe}$. Сернистый марганец также не растворяется в стали и выходит в шлак. Марганец входит в электродные покрытия и флюсы в виде ферромарганца и марганцевой руды.

Для восстановления первичного химического состава металла, а в некоторых случаях для улучшения механических свойств металла шва произ-

водят легирование наплавляемого металла. Цель легирования — восполнить выгорание основных примесей стали и ввести в металл шва элементы, придающие стали специальные качества. Легирующие элементы: кремний, марганец, хром, молибден, вольфрам, титан и др. — входят в состав электродных металлов, электродных покрытий, флюсов в чистом виде или в виде химических соединений. В электродное покрытие или во флюс они входят, как правило, в виде ферросплавов (ферросилиций, ферромарганец, феррохром, ферротитан, феррованадий, ферромолибден и др.).

§ 11. Кристаллизация металла сварочной ванны

В процессе сварки по мере перемещения дуги вслед ей перемещается сварочная ванна. При этом в задней части ванны расплавленный металл охлаждается и, затвердевая, образует сварной шов.

Кристаллизация металла сварочной ванны начинается у границы с нерасплавившимся основным металлом в зоне сплавления. Различают кристаллизацию первичную и вторичную. *Первичной кристаллизацией* называют процесс перехода металлов и сплавов из расплавленного (жидкого) состояния в твердое. Структура металлов, не имеющих аллотропических превращений, определяется только первичной кристаллизацией. Металлы и сплавы, имеющие аллотропические формы или модификации, после первичной кристаллизации при дальнейшем охлаждении претерпевают *вторичную кристаллизацию* в твердом состоянии — переход из одной аллотропической формы в другую (фазовые превращения).

Первичная кристаллизация металла сварочной ванны протекает периодически, так как периодически ухудшается теплообмен, периодически выделяется скрытая теплота кристаллизации. Это приводит к слоистому строению металла шва, к появлению ликвации, как зональной, так и дендритной. Толщина закристал-

лизовавшихся слоев зависит от объема сварочной ванны и скорости охлаждения металла и колеблется в пределах от десятых долей миллиметра до нескольких миллиметров. Зональная (слоистая) ликвация проявляется в неоднородности химического состава металла шва в периферийной и центральной зонах. Это является следствием того, что металл периферийных зон затвердевает раньше и поэтому содержит меньше примесей, а металл центральной зоны оказывается обогащенным примесями. Дендритная ликвация характеризуется химической неоднородностью кристаллитов. Первые кристаллиты (центральные и начальные части дендритов) содержат меньше примесей, а междендритное пространство оказывается более загрязненным примесями. На процесс ликвации существенно влияет способ сварки. Улучшая условия диффузии ликвидирующих примесей в твердом металле, можно значительно снизить как слоистую, так и дендритную ликвации. Например, увеличивая скорость охлаждения металла, сокращают длительность двухфазного состояния металла сварочной ванны и этим снижают степень неоднородности состава жидкой и твердой фаз. Большое значение имеет температурный интервал кристаллизации. Чем меньше температурный интервал кристаллизации, тем ниже уровень ликвации. Например, в сталях низкоуглеродистых, имеющих интервал кристаллизации 25...35°C, ликвация незначительна. С увеличением содержания в стали углерода температурный интервал кристаллизации возрастает и степень ликвации повышается.

Вторичная кристаллизация металла происходит в виде изменений форм зерен. Она в значительной степени зависит от химического состава металла, скорости охлаждения, а также от ряда других факторов. Теплота, выделяемая дугой при сварке, распространяется в основной металл. При этом по мере удаления от границы сплавления скорость и максимальная температура нагрева металла снижаются. Вследствие этого

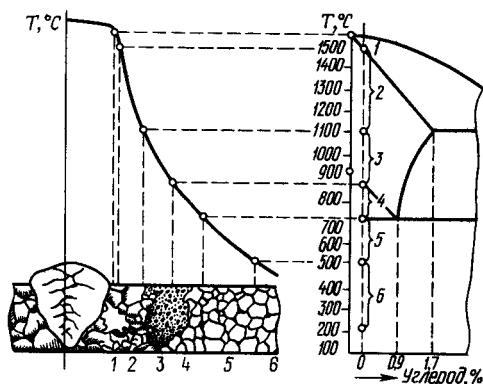


Рис. 38

в зоне основного металла происходят фазовые и структурные изменения, которые влияют на прочность сварного соединения.

Зону основного металла, прилегающую к сварочной ванне, называют зоной термического влияния.

На рис. 38 схематично показаны строение этой зоны и температурные участки с различными структурными превращениями низкоуглеродистой стали.

Участок неполного расплавления (1) является важным участком зоны, так как здесь происходит сращивание основного и наплавленного металлов и образование общих кристаллов. Участок представляет собой узкую полосу, измеряемую десятими, а иногда и сотыми долями миллиметра в зависимости от способа сварки.

Участок перегрева (2) включает в себя металл, нагреваемый до температуры, близкой к температуре плавления. Этот участок характеризуется крупнозернистой структурой. Перегрев снижает прочность и пластичность металла; в сталях с большим содержанием углерода может вызвать образование крупнозернистой, так называемой видманштеттовой структуры с низкими механическими свойствами. Участок перегрева особенно опасен для сталей, склонных к образованию закалочных структур.

Участок нормализации (3) включает металл, нагреваемый до температуры более 900°C. При нагреве и

охлаждении металла на этом участке происходит перекристаллизация и значительное измельчение зерна. Металл участка приобретает высокие механические свойства.

Участок неполной перекристаллизации (4) включает металл, нагреваемый выше 725°C . Металл участка состоит из крупных зерен, не прошедших перекристаллизацию, и скопления мелких зерен, прошедших перекристаллизацию. Это объясняется тем, что теплоты, полученной металлом, недостаточно для его полной перекристаллизации. Механические свойства металла участка в связи с такой смешанной структурой невысокие.

Участок рекристаллизации (5) включает металл, нагреваемый выше $450\ldots 500^{\circ}\text{C}$. На этом участке структурные изменения в металле не происходят, если только он перед сваркой не подвергался обработке давлением. Если же металл перед сваркой подвергался пластическим деформациям, то на этом участке наблюдается восстановление прежней формы и размеров зерен металла, разрушенных при обработке давлением.

Участок синеломкости (6) по структуре металла не отличается от основного. Однако металл участка имеет несколько пониженные пластичность и вязкость и большую склонность к образованию трещин.

Зона термического влияния составляет: при ручной сварке электродом без покрытия $\sim 2,5$ мм; при сварке электродом с качественным покрытием ~ 6 мм; при автоматической сварке под флюсом $\sim 2,5$ мм.

Следует отметить, что на механические свойства низкоуглеродистой стали сварка влияет незначительно. При сварке же конструкционных сталей в зоне термического влияния происходят структурные изменения, снижающие качество сварного соединения. При этом в металле шва образуются закалочные структуры и даже трещины. Значительно снизить термическое влияние процесса сварки на металл шва и околошовной зоны и получить качественное сварное соединение можно правильным выбором режима и техники сварки, а также хорошей подготовкой кромок свариваемых частей.

ГЛАВА 5

СВАРОЧНАЯ ПРОВОЛОКА И ЭЛЕКТРОДЫ

§ 12. Сварочная проволока

Для заполнения шва в зону дуги вводят присадочный металл в виде прутка или проволоки. При ручной дуговой сварке применяют плавящиеся электроды в виде прутков или стержней с покрытием. При механизированной сварке используют электрод в виде проволоки, намотанной на катушку.

Стальная холоднотянутая проволока, идущая на изготовление электродов или применяемая как сварочная проволока, изготавливается по ГОСТ 2246—70 следующих диаметров: 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0 и 12,0 мм. Проволока поставляется в мотках (бухтах) из одного отреза. Проволока первых семи диаметров

предназначена в основном для полуавтоматической и автоматической сварки в защитном газе. Для автоматической и полуавтоматической сварки под флюсом применяют проволоку диаметром 2...6 мм. Проволока диаметром 1,6...12,0 мм идет на изготовление стержней электродов. Поверхность проволоки должна быть гладкой, чистой, без окалины, ржавчины, грязи и масла.

По химическому составу ГОСТ 2246—70 устанавливает три основные группы марок сварочной проволоки: низкоуглеродистые (6 марок) с содержанием углерода не более 0,12%, предназначенные для сварки низкоуглеродистых, среднеуглеродистых и некоторых низколегированных сталей; легированные (30 марок) для сварки низколегированных, конструкционных

и теплостойких сталей; высоколегированные (39 марок) для сварки хромистых, хромоникелевых, нержавеющей и других высоколегированных сталей. Химический состав некоторых марок сварочной проволоки приведен в табл. 9.

Проволока маркируется индексом Св (сварочная) и следующих за ним букв и цифр. Буквами обозначены химические элементы, содержащиеся в металле проволоки: А — азот (только в высоколегированных проволоках), Г — марганец, С — кремний, Х — хром, Н — никель, М — молибден, Т — титан, Ю — алюминий, Ц — цирконий и др. Первые две цифры, следующие за индексом Св указывают содержание углерода в сотых долях процента, а цифры после букв — содержание данного элемента в процентах. Отсутствие цифры после буквенного обозначения легирующего элемента означает, что этого элемента в проволоке менее одного процента. Буква А на конце обозначений марок низкоуглеродистой и легированной проволоки указывает на пониженное содержание вредных примесей (серы и фосфора). Например, сварочная проволока марки Св-08ХГ2С содержит 0,08% углерода, до 1% хрома, до 2% марганца и до 1% кремния.

Содержание углерода в сварочной проволоке не превышает 0,12—0,15% (за редким исключением), что снижает склонность металла шва к газовой пористости и образованию твердых закалочных структур. Содержание кремния в углеродистой проволоке составляет менее 0,03%, так как наличие кремния способствует образованию при сварке пор в металле шва. Допустимое содержание серы и фосфора также ограничено (0,04% каждого элемента), так как они даже при малой концентрации способствуют образованию трещин в сварном шве.

Медь и ее сплавы сваривают проволокой и прутками из меди и сплавов на медной основе (ГОСТ 16130—72). Алюминий и алюминиевые сплавы сваривают сварочной проволокой из алюминия и его сплавов

(ГОСТ 7871—75). Для сварки других металлов и сплавов применяют сварочную проволоку или стержни, изготовленные либо по ГОСТу на свариваемый металл, либо по техническим условиям.

Вместо дорогостоящей легированной сварочной проволоки успешно применяют порошковую электродную проволоку. Ее изготавливают из стальной ленты, свернутой в трубочку, внутрь которой помещают шихту (порошок), состоящую из смеси ферросплавов, железного порошка и графита. Диаметр порошковой проволоки 2,5...5 мм. Состав шихты подбирают так, чтобы образовавшийся от расплавленных оболочки и шихты жидкий сплав имел после охлаждения химический состав и свойства, установленные для металла шва. Сварку порошковой проволокой производят открытой дугой, под флюсом или в защитных газах. При строительно-монтажных работах применяют порошковую проволоку марок ПП-АН1, ПП-АН2, ПП-АН3, ПП-ДСК. Они позволяют получать металл шва с высокими механическими свойствами.

В настоящее время получил применение разработанный Институтом электросварки им. Е. О. Патона способ сварки самозащитной проволокой, т. е. сплошной легированной проволокой без защитной среды (открытой дугой). Этот способ основан на использовании специальных электродных проволок, содержащих раскисляющие и стабилизирующие элементы. Обычно при сварке открытой дугой происходит выгорание марганца и кремния, а металл шва обогащается кислородом и азотом. При сварке специальной для данного способа легированной проволокой происходит компенсация выгорания марганца и кремния за счет повышенного их содержания в металле проволоки. Металл проволоки содержит также алюминий, титан, цирконий и церий. Эти элементы обеспечивают хорошее раскисление металла сварочной ванны, образуя соединения, переходящие в шлак. Кроме того, эти элементы

Марка проволоки	Химический состав, %									
	углерод	марганец	кремний	хром	никель	молибден	титан	прочие элементы	сера	фосфор не более
<i>Низкоуглеродистая проволока</i>										
Св-08	≤ 0,10	0,35...0,60	≤ 0,03	≤ 0,15	≤ 0,30	—	—	—	0,040	0,040
Св-08А	≤ 0,10	0,35...0,60	≤ 0,03	≤ 0,12	≤ 0,25	—	—	—	0,030	0,030
Св-08АА	≤ 0,10	0,35...0,60	≤ 0,03	≤ 0,10	≤ 0,25	—	—	—	0,020	0,020
Св-08ГА	≤ 0,10	0,80...1,10	≤ 0,03	≤ 0,10	≤ 0,25	—	—	—	0,025	0,030
Св-10ГА	≤ 0,12	1,10...1,40	≤ 0,03	≤ 0,20	≤ 0,30	—	—	—	0,025	0,030
Св-10Г2	≤ 0,12	1,50...1,90	≤ 0,03	≤ 0,20	≤ 0,30	—	—	—	0,030	0,030
<i>Легированная проволока</i>										
Св-08ГС	≤ 0,10	1,40...1,70	0,60...0,85	≤ 0,20	≤ 0,25	—	—	—	0,025	0,030
Св-12ГС	≤ 0,14	0,80...1,10	0,60...0,90	≤ 0,20	≤ 0,30	—	—	—	0,025	0,030
Св-08Г2С	0,05...0,11	1,80...2,10	0,70...0,95	≤ 0,20	≤ 0,25	—	—	—	0,025	0,030
Св-15ГСТЮЦА	0,12...0,18	0,60...1,00	0,45...0,85	≤ 0,30	≤ 0,40	—	0,05...0,20	Al 0,20...0,50 Zr 0,05...0,15 Ce ≤ 0,40	0,025	0,025
Св-20ГСТЮА	0,17...0,23	0,90...1,20	0,60...0,90	≤ 0,30	≤ 0,40	—	0,10...0,20	Al 0,20...0,50 Ce 0,30...0,45	0,025	0,025
Св-08ХМ	0,06...0,10	0,35...0,60	0,12...0,30	0,90...1,20	≤ 0,30	0,50...0,70	—	—	0,025	0,025
Св-08ХГ2С	0,05...0,11	1,70...2,10	0,70...0,95	0,70...1,00	≤ 0,25	—	—	—	0,025	0,030
Св-10ХГ2СМА	0,07...0,12	1,70...2,10	0,60...0,90	0,80...1,10	≤ 0,30	0,40...0,60	—	—	0,025	0,025
Св-10Х5М	≤ 0,12	0,40...0,70	0,12...0,35	4,00...5,50	≤ 0,30	0,40...0,60	—	—	0,025	0,030
<i>Высоколегированная проволока</i>										
Св-12Х13	0,09...0,14	0,30...0,70	0,30...0,70	12,0...14,0	≤ 0,60	—	—	—	0,025	0,030
Св-01Х19Н9	≤ 0,08	1,00...2,00	0,50...1,00	18,00...20,00	8,00...10,00	—	—	—	0,015	0,025
Св-06Х19Н9Т	≤ 0,08	1,00...2,00	0,40...1,00	18,00...20,00	8,00...10,00	—	0,50...1,00	—	0,015	0,030
Св-04Х19Н9С2	≤ 0,06	1,00...2,00	2,00...2,75	18,00...20,00	8,00...10,00	—	—	—	0,018	0,025
Св-10Х20Н15	≤ 0,12	1,00...2,00	≤ 0,80	19,00...22,00	14,00...16,00	—	—	—	0,018	0,025

связывают азот, нейтрализуя его вредное действие на пластичность и вязкость металла. Церий и цирконий повышают ударную вязкость и пластичность металла шва, а также способствуют устойчивому процессу сварки и уменьшению разбрызгивания металла. Этим способом можно производить сварку в углекислом газе постоянным током прямой полярности, что позволяет значительно повысить коэффициент наплавки и производительность сварки. Для этого спо-

соба применяют проволоки марок Св-20ГСТЮА и Св-15ГСТЮЦА (табл. 9).

§ 13. Металлические электроды

Металлические электроды изготовляют по ГОСТ 9466—75 «Электроды, покрытые металлическими для ручной дуговой сварки и наплавки. Классификация, размеры и общие технические требования». Установленные ГОСТом размеры электродов следующие:

Диаметр стержня, мм	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0
Длина стержня, мм:										
из низкоуглеродистой или легированной проволоки	200, 250	250	250, 300	300, 350	350, 450			450		
из высоколегированной проволоки	150, 200	200, 250	250	300, 350	350			350, 450		

Электроды классифицируют по назначению, типу, маркам, толщине покрытия, качеству, допустимым пространственным положениям сварки или наплавки и т.д. По качеству (точность изготовления, состояние поверхности покрытия, сплошность металла шва, содержание серы и фосфора в наплавленном металле) электроды подразделяются на три группы: 1, 2, 3.

Покрытие электрода должно быть однородным, плотным, прочным, без трещин, вздутий, наплывов и эксцентриситетности относительно оси стержня. Допускаются шероховатость и отдельные риски глубиной менее четверти толщины покрытия, вмятины глубиной до половины толщины покрытия и другие мелкие дефекты. Прочность покрытия испытывают следующим образом: при падении плашмя на стальную плиту с высоты 1 м электродов диаметром менее 4 мм и с высоты 0,5 м электродов диаметром 4 мм и более покрытие не должно разрушаться. Влагодостойкость покрытия проверяют погружением электрода в воду и выдержкой в течение 24 ч при температуре 15...25°C.

Электроды упаковывают в водонепроницаемую бумагу или полиэтиленовую пленку; пачки массой 3...8 кг укладывают в деревянные ящики. Масса ящика 30...50 кг. На каждой пачке имеются этикетка, содержащая наименование предприятия-изготовителя, условное обозначение электродов, область их применения, режимы сварки, механические и специальные свойства металла шва и др.

Электроды, изготовленные по ГОСТу, обеспечивают устойчивое горение дуги и спокойное равномерное плавление покрытия. Шлак ровным слоем покрывает наплавляемый металл и легко удаляется после остывания. Трещины, газовые поры и шлаковые включения в сварном шве не образуются. Содержание серы и фосфора в металле сварного шва при сварке низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей не превышает 0,05%, а при сварке легированных сталей повышенной прочности — 0,04%. Сварные швы высоколегированных сталей содержат серы не более 0,025% и фосфора не более 0,03%.

Типы и требования, предъявляемые к металлическим электродам для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей, регламентированы ГОСТ 9467—75. Для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей предусмотрено 9 типов электродов (Э38, Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А, Э55, Э60); для сварки легированных конструкционных сталей повышенной и высокой прочности — 5 типов (Э70, Э85, Э100, Э125, Э150); для сварки теплоустойчивых сталей — 9 типов (Э-09М, Э-09МХ и др.). При изготовлении стержней большинства этих электродов применяют проволоку Св-08 и Св-08А.

Тип электрода обозначается буквой Э и цифрой, указывающей гарантируемый предел прочности металла шва в кгс/мм². Буква А в обозначении указывает, что металл шва, наплавленный этим электродом, имеет повышенные пластические свойства. Такие электроды применяют при сварке наиболее ответственных швов. Каждому типу электрода соответствует несколько марок, на каждую из которых разработаны технические условия. Например, типу Э42 соответствуют электроды ОММ-5, ЦМ-7, МЭЗ-04 и др. Марка электрода — это его промышленное обозначение, характеризующее стержень и покрытие.

Электродные покрытия делят на две группы: тонкие (стабилизирующие и ионизирующие) и толстые (качественные). Назначение тонкого покрытия — облегчить возбуждение дуги и стабилизировать ее горение. Для этого покрытие составляют из веществ, атомы и молекулы которых обладают низким потенциалом ионизации, т. е. легко ионизируются в воздушном промежутке дуги. Такими веществами являются калий, натрий, кальций, барий, литий, стронций и др. Они применяются, как правило, в виде углекислых солей: мел CaCO_3 , поташ K_2CO_3 , углекислый барий BaCO_3 и др. В качестве связующего вещества применяют жидкое стекло, представляющее собой силикат натрия $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$. Покрытие наносят на стержень элект-

рода слоем толщиной 0,1...0,25 мм, что составляет 1,5...2,5% от массы электрода. *Тонкое покрытие* не создает защиты для расплавленного металла шва и поэтому при сварке происходит его окисление и азотирование. Шов получается хрупким, пористым, с различными неметаллическими включениями. Поэтому электроды с тонким покрытием используют при выполнении ответственных сварных швов.

Наиболее простым тонким покрытием является меловое. Оно состоит из мелкопросеянного чистого мела, разведенного в жидком стекле. На 100 массовых частей мела берется 25...30 массовых частей жидкого стекла и полученная смесь размешивается в воде до сметанообразного состояния. Электродные стержни окунают в этот раствор и сушат при комнатной температуре или в сушильных шкафах при температуре 30...40°C. Такие электроды дают при сварке швы очень низкого качества и поэтому применяются редко.

Более качественные сварные швы дают электроды с тонким покрытием марки К-3 и А-1. Основным составляющей этих покрытий является титановый концентрат. Покрытие К-3 содержит 57,8% титанового концентрата и 42,2% марганцевой руды, а жидкое стекло составляет 25...35% от массы концентрата и руды. Покрытие А-1 содержит 86,6% титанового концентрата, 10,2% марганцевой руды, 3,2% калиевой селитры. Жидкое стекло берется в количестве 30...35% от массы перечисленных компонентов. При сварке тонкостенных изделий хорошие результаты дает покрытие МТ, состоящее из 62% титанового концентрата, 31% полевого шпата и 7% хромовокислого калия. Жидкое стекло составляет 30% от массы остальных компонентов. Применяют и ряд других покрытий, имеющих различные назначения.

Сварное соединение высокого качества выполняют электродами с толстым покрытием. Поэтому эти покрытия называют *качественными*. Качественное покрытие выполняет сле-

дующие функции: обеспечивает устойчивое горение дуги; защищает расплавленный металл шва от воздействия кислорода и азота воздуха; раскисляет образующиеся в металле шва оксиды и удаляет невосстанавливаемые оксиды в шлак; изменяет состав наплавляемого металла вводом в него легирующих примесей; удаляет серу и фосфор из расплавленного металла шва; образует шлаковую корку над металлом шва, замедляет его охлаждение и тем самым способствует выходу газов и неметаллических включений на поверхность металла шва. Разработанная советскими учеными теория сварочных процессов дает возможность точно рассчитать состав электродных покрытий в зависимости от состава свариваемого металла и требований, предъявляемых к сварному шву.

Для выполнения перечисленных выше функций электродное качественное покрытие должно содержать следующие компоненты:

Ионизирующие вещества для снижения эффективного потенциала ионизации. Это обеспечивает стабильное горение дуги. В качестве ионизирующих компонентов в покрытия вводят такие вещества, как мел, мрамор, поташ, полевой шпат и др.

Газообразующие вещества, которые при сварке разлагаются или сгорают, выделяя большое количество газов, создающих в зоне дуги газовую оболочку. Благодаря этой оболочке металл шва предохраняется от воздействия атмосферного кислорода и азота. Такими газообразующими веществами являются крахмал, древесная мука, целлюлоза и др.

Раскисляющие вещества, которые обладают большим сродством к кислороду и поэтому восстанавливают металл шва. Раскислителями служат ферросплавы, алюминий, графит и др.

Шлакообразующие вещества, создающие шлаковую защиту расплавленного металла шва, а также капель электродного металла, проходящих через дуговой промежуток. Кроме того, шлаки активно участвуют в металлургических процессах при сварке и

способствуют получению качественного шва. В качестве шлакообразующих веществ применяются полевой шпат ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$), кварц (SiO_2), мрамор, рутил, марганцевая руда и др.

Легирующие вещества, которые в процессе сварки переходят из покрытия в металл шва и легируют его для придания тех или иных физико-механических свойств. Хорошими легирующими веществами являются ферромарганец, ферросилиций, феррохром, ферротитан. Реже применяют различные оксиды металлов (меди, хрома и др.).

Связующие вещества, предназначенные для замеса всех компонентов покрытия в виде пасты, а также для связывания пасты на сердечнике электрода и придания определенной прочности после высыхания покрытия. Таким веществом является жидкое стекло. Реже применяется декстрин.

Одной из важных характеристик электрода является *коэффициент массы покрытия*, равный отношению массы покрытия к массе покрытой части электрода.

По виду покрытия электроды подразделяются: с кислым покрытием — условное обозначение А; с основным покрытием — Б; с целлюлозным покрытием — Ц; с рутиловым покрытием — Р.

Кислые покрытия содержат руды в виде оксидов железа и марганца; при плавлении они выделяют кислород, способный окислить металл ванны и легирующие примеси. Для ослабления действия кислорода в покрытие вводят раскислители в виде ферросплавов. Однако наплавленный металл имеет относительно малую вязкость и пластичность и пониженное содержание легирующих примесей. К этому виду относятся покрытия ОММ-5, ЦМ-7 и др. Покрытие ОММ-5 состоит из 37% титанового концентрата, 21% марганцевой руды, 13% полевого шпата, 20% ферромарганца и 9% крахмала. Коэффициент массы покрытия составляет 30...38%. Покрытие ЦМ-7 содержит 33% гематита (Fe_2O_3 , 30% ферромарганца,

32% гранита и 5% крахмала. Коэффициент массы покрытия — 40 ... 45%.

Рутиловые покрытия, основным компонентом которых является рутил (TiO_2 — двуоксид титана). Шлакообразующими компонентами служат рутил, а также полевой шпат, магнетит и др. В качестве раскислителя и легирующего компонента применяют ферромарганец. В практике применяют покрытия ЦМ-9, МР-3 и др. Покрытие ЦМ-9 содержит 48% рутила, 30% полевого шпата, 15% ферромарганца, 5% магнетита и 2% декстрина. Коэффициент массы покрытия 38 ... 42%. Коэффициент наплавки — 9,5 ... 10,5 г/(А · ч). Покрытие МР-3 состоит из рутила (50%), мрамора или мела (18%), ферромарганца (15,5%), каолина (5%), оксигеллюлозы (1,5%) и талька (10%). Коэффициент массы покрытия составляет 38 ... 42%.

Целлюлозные покрытия, содержащие главным образом органические компоненты в качестве газообразующих и связующих веществ. В качестве раскислителей введены ферромарганец, ферросилиций. К этой группе относятся покрытия ОМА-2, ЦЦ-1, ВСП ВНИИСТ и др. Покрытие ОМА-2 состоит из титанового концентрата (36,5%) марганцевой руды (3,5%), калиевой селитры (2%), ферромарганца (6%), ферросилиция (5%) и муки (47%). Коэффициент массы покрытия — 9 ... 10%. Покрытие ЦЦ-1 содержит 25% рутила, 20% ферромарганца, 45% целлюлозы и 10% талька. Коэффициент массы покрытия составляет 12 ... 15%. Коэффициент наплавки достигает 10 г/(А · ч).

Основные покрытия, составленные на основе плавикового шпата (CaF_2) и мрамора (карбонат кальция CaCO_3). Отсутствие в составе этого покрытия оксидов железа и марганца позволяет широко легировать наплавляемый металл. При сварке можно получить металл шва заранее заданного химического состава с хорошими механическими свойствами. В качестве раскислителей покрытие содержит ферротитан, ферромарганец и

ферросилиций. В эту группу входят покрытия типа УОНИ-13, содержащие мрамор (51 ... 54%), плавиковый шпат (15 ... 18%), кварцевый песок (8 ... 9%), ферромарганец (2 ... 7%), ферросилиций (3 ... 10%), ферротитан (9 ... 16%) и ферромолибден (до 5%). Коэффициент массы покрытия составляет 33 ... 38%.

Условное обозначение электрода включает марку электрода, диаметр стержня, группу по качеству и номер ГОСТа. Например, «Электрод УОНИ 13/45—3,0—2 ГОСТ 9466—75».

В промышленности и строительстве получили широкое применение следующие марки электродов. Электрод ОММ-5 относится к электродам типа Э42; применяется для сварки ответственных конструкций из низкоуглеродистой стали на переменном и постоянном токе. Коэффициент наплавки достигает 8,0 г/(А · ч). Сварка производится при любом пространственном положении шва. Электрод ЦМ-7 относится также к электродам типа Э42 и применяется для сварки ответственных швов конструкций из низкоуглеродистой стали во всех пространственных положениях (при потолочных швах качество сварки снижается). Коэффициент наплавки равен 11 г/(А · ч). Электрод отличается высокой производительностью, так как допускает применение больших плотностей тока. Электрод ЦМ-7с отличается от электрода ЦМ-7 большей толщиной покрытия и предназначен для скоростной сварки швов в нижнем положении. Электроды типа УОНИ-13 дают высокое качество металла шва и применяются для сварки ответственных швов из конструкционных сталей. Они выпускаются нескольких марок: УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, УОНИ-13/65 и УОНИ-13/85. Цифры после черты означают получаемый предел прочности металла шва в кгс/мм². Сварку можно производить при любом положении шва, но только на постоянном токе обратной полярности. Эти электроды применяют в заводских и монтажных условиях. Коэффициент наплавки электрода УОНИ-13/45 равен 9,8 г/(А · ч), а у

электродов остальных марок — 8 г/(А · ч). Электрод СМ-11 (тип Э42А) получил большое распространение в строительстве и монтаже сварных конструкций. Наплавленный металл имеет высокие механические свойства. Коэффициент наплавки достигает 10 г/(А · ч). Важным положительным качеством электрода СМ-11 является устойчивость сварки в условиях монтажа, когда необходимо поддерживать постоянство длины сварочной дуги. Таким же качеством обладают электроды марки МР-3, имеющие коэффициент наплавки 9 г/(А · ч). Они предназначены для сварки постоянным и переменным током.

Для сварки ответственных конструкций из низкоуглеродистых сталей переменным или постоянным током во всех пространственных положениях хорошие результаты дают электроды типа Э42 марки АНО-5, имеющие коэффициент наплавки 11 г/(А · ч),

и марки АНО-6 с коэффициентом наплавки 8,5 г/(А · ч). Для сварки деталей из низкоуглеродистой стали, работающих при динамических нагрузках, применяют электроды марки АНО-3 и АНО-4 (тип Э46) с коэффициентом наплавки 8 г/(А · ч). Электроды марки АНО характеризуются устойчивым горением дуги, незначительным разбрызгиванием металла, стойкостью против образования кристаллизационных трещин и легкостью отделения шлаковой корки. Особо следует отметить их низкую токсичность.

Для сварки тонколистовой стали толщиной 0,8 ... 2,5 мм применяют электроды ОМА-2 (тип Э42). Коэффициент наплавки достигает 9,5 г/(А · ч). Стержень изготавливают из сварочной проволоки Св-08 диаметром до 3 мм. При больших диаметрах возрастают потери на угар и разбрызгивание металла.

ГЛАВА 6

ТЕХНОЛОГИЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

§ 14. Сварные соединения и швы

Сварным соединением называется неразъемное соединение, выполненное сваркой, состоящее из двух деталей и соединяющего их сварного шва.

ГОСТ 5264—80 устанавливает основные типы, конструктивные элементы и размеры сварных соединений из сталей, а также сплавов на железоникелевой и никелевой основах, выполняемых ручной дуговой сваркой металлическим электродом при толщине свариваемого металла до 175 мм. Установлены следующие типы соединений: стыковые — условное обозначение С, нахлесточные — Н, тавровые — Т и угловые — У.

Стыковые соединения — самые типичные сварные соединения, в которых торцы или кромки соединяемых деталей располагаются так, что поверхность одной детали является продолжением поверхности другой детали. Стыковые соединения без скоса свариваемых кромок применяют при

соединении листов толщиной до 12 мм. Кромки листов срезают под прямым углом к плоскости листа и при сварке располагают с зазором 1 ... 2 мм. Листы толщиной до 4 мм сваривают односторонним швом, 2 ... 12 мм — двусторонним швом. Стыковые соединения с V-образной разделкой кромок применяют при сварке металла толщиной 3 ... 60 мм. При этом разделка кромок может быть одно- и двусторонней. Для толщин металла 15 ... 100 мм применяют V-образную разделку шва с криволинейным скосом одной или обеих кромок. Стыковые соединения с X- и К-образной разделкой кромок применяют при сварке металла толщиной 8 ... 175 мм. При этом расход электродного металла, а отсюда и электроэнергии почти вдвое меньше, чем при V-образной разделке кромок. Кроме того, такая разделка обеспечивает меньшую величину деформаций после сварки. При V- и X-образной разделках кромки притупляют, чтобы предотвратить прожог металла при сварке.

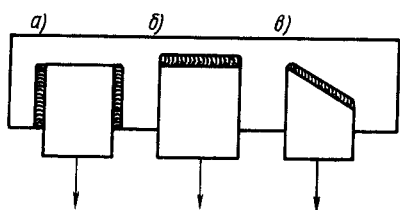


Рис. 39

Нахлесточные соединения широко применяют при изготовлении различных строительных конструкций — колонн, мачт, ферм и др. Один элемент соединения накладывается на другой. Величина перекрытия должна быть не менее удвоенной суммы толщин свариваемых кромок изделия. Свариваемые поверхности не обрабатывают (не считая зачистку кромок). Листы при сварке заваривают с обеих сторон, чтобы не допустить проникновения влаги в зазор между свариваемыми листами.

Тавровые соединения — соединения, при которых торец одного элемента примыкает к поверхности другого элемента свариваемой конструкции под некоторым углом (чаще всего под прямым). В зависимости от назначения соединения и толщины металла элементов конструкции сварка может быть осуществлена без скоса, с одно- и двусторонним скосом кромок элементов соединения. Для получения прочного шва зазор между свариваемыми элементами составляет 2 ... 3 мм.

Угловые соединения осуществляют при расположении свариваемых элементов под прямым или произвольным углом и сварка выполняется по кромкам этих элементов с одной или с обеих сторон. Угловые соединения применяют при сварке различ-

ных коробчатых изделий, резервуаров и емкостей.

Сварные швы подразделяют по следующим признакам: по положению относительно действующей силы (рис. 39) — на фланговые (а), лобовые (б) и косые (в); по положению в пространстве (рис. 40) — на нижние (а), горизонтальные (б), вертикальные (в) и потолочные (г); по внешней форме (рис. 41) — на выпуклые (а), нормальные (б) и вогнутые (в); по протяженности (рис. 42) — на непрерывные или сплошные (а) и прерывистые (б).

Выпуклые швы имеют большее сечение и поэтому называются усиленными. Однако большая выпуклость для швов, работающих при знакопеременных нагрузках, вредна, так как вызывает концентрацию напряжений в местах перехода от шва к поверхности основной детали. Вогнутые швы, ослабленные, применяют, как правило, в угловых соединениях; в стыковых соединениях они не допускаются. Нормальные швы по сечению соответствуют расчетным и приняты как основной вид сварного шва. Прерывистые швы применяют в том случае, если шов неответственный (сварка ограждений, настила и др.) или если по прочностному расчету не требуется сплошной шов. Их применяют в целях экономии материалов, электроэнергии и труда сварщика. Длину l провариваемых участков прерывистого шва принимают 50 ... 150 мм, а промежутки делают примерно вдвое больше. Расстояние от начала предыдущего шва до начала последующего шва называют шагом шва t .

Основные типы сварных швов: стыковые и угловые. Стыковые швы — это швы стыковых соединений. Угло-

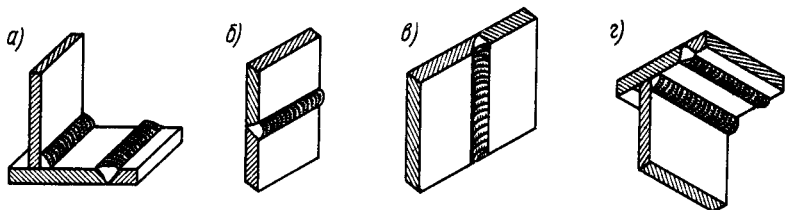


Рис. 40

вые швы, называемые также валиковыми, — это швы угловых, тавровых и нахлесточных соединений. ГОСТ 2.312—72 ЕСКД устанавливает условные изображения и обозначения сварных соединений в конструкторских документах изделий. Условное обозначение шва наносят на полке линии-выноски, проведенной от изображения шва с лицевой стороны, и под полкой линии-выноски, проведенной от изображения шва с оборотной стороны. На рис. 43 показан пример обозначения шва стыкового соединения с криволинейным скосом одной кромки, двустороннего, выполняемого ручной дуговой сваркой при монтаже изделия. Усиление снято с обеих сторон. Шероховатость поверхности шва с лицевой стороны — $R_z 20$, а с оборотной стороны — $R_z 40$.

§ 15. Выбор режима сварки и техника выполнения швов

Для выполнения сварного шва прежде всего определяют режим сварки, обеспечивающий хорошее качество сварного соединения, установленные размеры и форму при минимальных затратах материалов, электроэнергии и труда.

Режимом сварки называется совокупность параметров, определяющих процесс сварки: вид тока, диаметр электрода, напряжение и сварочный ток, скорость перемещения электрода вдоль шва и др. Основными параметрами режима ручной дуговой сварки являются диаметр электрода и зна-

Толщина свариваемых кро-

мок, мм	< 2	3...5	6...8	9...12	13...15	16...20	> 20
Диаметр электрода, мм	< 2	3...4	4...5	5...6	6...7	7...8	8...10

При выполнении угловых и тавровых соединений принимают во внимание значение катета шва: при катете 3 ... 5 мм сваривают электродами диаметром 3 ... 4 мм, а при катете 6 ... 8 мм — электродами диаметром 4 ... 5 мм. При многопроходной сварке швов стыковых соединений первый проход выполняют электродом диаметром не более 4 мм; это необходимо для хорошего провара корня шва в глубине разделки.

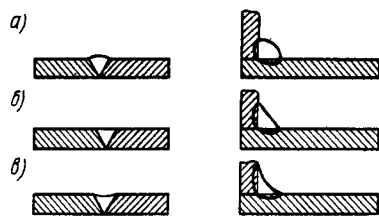


Рис. 41

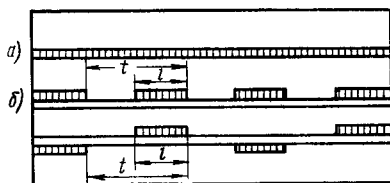


Рис. 42

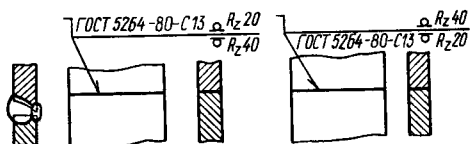


Рис. 43.

чение сварочного тока. Остальные параметры выбирают в зависимости от марки электрода, положения свариваемого шва в пространстве, вида оборудования и др.

Диаметр электрода устанавливают в зависимости от толщины свариваемых кромок, вида сварного соединения и размеров шва. Для стыковых соединений приняты практические рекомендации по выбору диаметра электрода в зависимости от толщины свариваемых кромок.

По выбранному диаметру электрода устанавливают значение сварочного тока. Обычно для каждой марки электродов значение тока указано на заводской этикетке, но можно также определить его по формулам:

$$I = (40...50) d_e \text{ при } d_e = 4...6 \text{ мм};$$

$$I = (20 + 6 d_e) d_e \text{ при } d_e < 4 \text{ мм и } d_e > 6 \text{ мм},$$

где I — сварочный ток, А; d_e — диаметр электрода, мм.

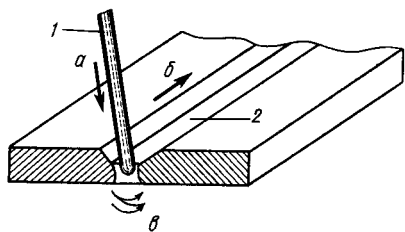


Рис. 44

Полученное значение сварочного тока корректируют, учитывая толщину металла и положение свариваемого шва. При толщине кромок ($1,3 \dots 1,6$) d , расчетное значение сварочного тока уменьшают на $10 \dots 15\%$, а при толщине кромок $> 3d$, — увеличивают на $10 \dots 15\%$. Сварку вертикальных и потолочных швов выполняют сварочным током, на $10 \dots 15\%$ уменьшенным против расчетного.

Сварочную дугу возбуждают двумя приемами. Можно коснуться свариваемого изделия торцом электрода и затем отвести электрод от поверхности изделия на $3 \dots 4$ мм, поддерживая горение образовавшейся дуги. Можно также быстрым боковым движением коснуться свариваемого изделия и затем отвести электрод от поверхности изделия на такое же расстояние (по методу зажигания спички). Прикосновение электрода к изделию должно быть кратковременным, так как иначе он приваривается к изделию («примерзает»). Отрывать «примерзший» электрод следует резким поворачиванием его вправо и влево.

Длина дуги значительно влияет на качество сварки. Короткая дуга горит устойчиво и спокойно. Она обеспечивает получение высококачественного шва, так как расплавленный металл электрода быстро проходит дуговой промежуток и меньше подвергается окислению и азотированию. Но слишком короткая дуга вызывает «примерзание» электрода, дуга прерывается, нарушается процесс сварки. Длинная дуга горит неустойчиво с характерным шипением. Глубина проплавления недостаточная, расплавленный металл электрода разбрызги-

вается и больше окисляется и азотируется. Шов получается бесформенным, а металл шва содержит большое количество оксидов. Для электродов с толстым покрытием длину дуги указывают на заводской этикетке.

В процессе сварки электроду сообщаются следующие движения (рис. 44): a — по направлению оси электрода 1 в зону дуги. Скорость движения должна соответствовать скорости плавления электрода, чтобы сохранить постоянство длины дуги; b — вдоль линии свариваемого шва 2 . Скорость перемещения не должна быть большой, так как металл электрода не успеет сплавиться с основным металлом (непровар). При малой скорости перемещения возможны перегрев и перегой металла. Шов получается широкий, толстый. Производительность сварки оказывается низкой; $в$ — поперечные колебательные движения применяют для получения уширенного валика шириной, равной $3 \dots 4 d$. Поперечные движения замедляют остывание направляемого металла, облегчают выход газов и шлаков и способствуют наилучшему сплавлению основного и электродного металлов и получению высококачественного шва. Образующийся в конце наплавки валика кратер необходимо тщательно заварить.

Техника выполнения сварных швов зависит от вида и пространственного положения шва.

Нижние швы наиболее удобны для выполнения, так как расплавленный металл электрода под действием силы тяжести стекает в кратер и не вытекает из сварочной ванны, а газы и шлак выходят на поверхность металла. Поэтому по возможности следует вести сварку в нижнем положении. Стыковые швы без скоса кромок выполняют наплавкой вдоль шва валика с небольшим уширением. Необходимо хорошее проплавление свариваемых кромок. Шов делают с усилением (выпуклость шва до 2 мм). После проварки шва с одной стороны изделие переворачивают и, тщательно очистив от подтеков и шлака, заваривают шов с другой стороны.

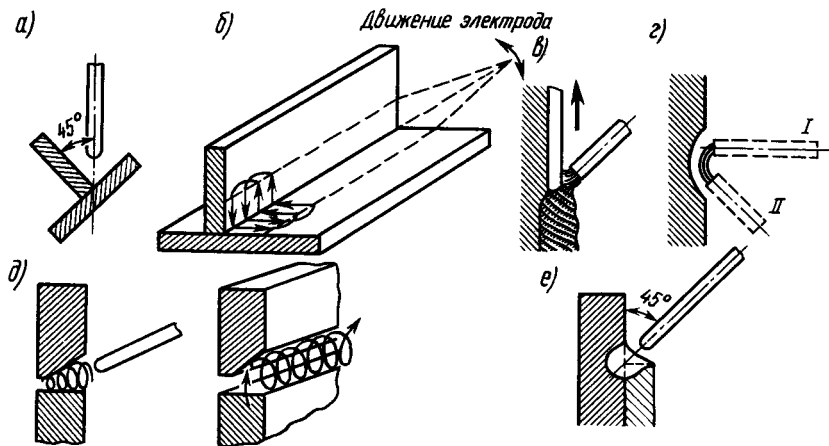


Рис. 45

Сварку стыковых швов с V-образной разделкой при толщине кромок до 8 мм производят в один слой, а при большей толщине — в два слоя и более. Первый слой наплавляют высотой 3 ... 5 мм электродом диаметром 3 ... 4 мм. Последующие слои выполняют электродом диаметром 4...5 мм. Перед наплавкой очередного слоя необходимо тщательно очистить металлической щеткой разделку шва от шлака и брызг металла. После заполнения всей разделки шва изделие переворачивают и выбирают небольшую канавку в корне шва, которую затем аккуратно заваривают. При невозможности подварить шов с обратной стороны следует особенно аккуратно проварить первый шов. Стыковые швы с X-образной разделкой выполняют аналогично многослойным швам с обеих сторон разделки. Угловые швы в нижнем положении лучше выполнять в положении «лодочка» (рис. 45, а). Если изделие не может быть так установлено, необходимо особенно тщательно обеспечить хороший провар корня шва и свариваемых кромок. Сварку следует начинать с поверхности нижней кромки и затем переходить через разделку шва на вертикальную кромку, как показано на рис. 45, б. При наложении многослойного шва первый валик выполняют ниточным швом электродом диаметром 3 ... 4 мм. При этом необходимо обеспечить хороший провар

корня шва. Затем после зачистки разделки наплавляют последующие слои.

Вертикальные швы менее удобно сваривать, так как сила тяжести увлекает капли электродного металла вниз. Вертикальные швы следует выполнять короткой дугой и снизу вверх (рис. 45, в). При этом капли металла легче переходят в шов, а образующаяся полочка удерживает очередные капли металла от стекания вниз. Сварку можно вести и сверху вниз. При этом дугу следует зажигать при положении электрода, перпендикулярном плоскости изделия (положение I, рис. 45, г). После образования первых капель металла электрод наклоняют вниз II и сварку выполняют возможно короткой дугой. Рекомендуется применять электроды диаметром 4 ... 5 мм при несколько пониженном сварочном токе (150... 170 А).

Горизонтальные швы — для их выполнения подготавливают кромки с односторонним скосом у верхнего листа (рис. 45, д). Дугу возбуждают на нижней кромке и затем переводят на поверхность скоса и обратно. Сварку выполняют электродом диаметром 4 ... 5 мм. Горизонтальные нахлесточные швы (рис. 45, е) выполняются легче, так как нижняя кромка образует полочку, удерживающую капли расплавленного металла.

Потолочные швы наиболее трудно выполнимы и поэтому требуют высо-

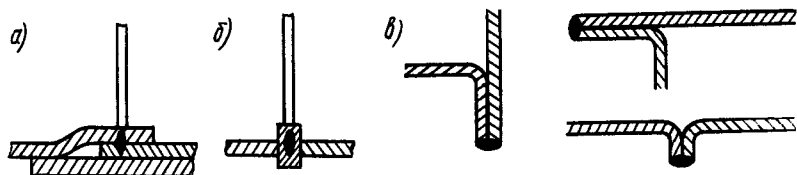


Рис. 46

кой квалификации сварщика. Применяют электроды диаметром не более 5 мм при уменьшенном сварочном токе. Следует применять тугоплавкое покрытие электрода, образующее «чехольчик», в котором удерживается расплавленный металл электрода. Дуга должна быть как можно короче для облегчения перехода капель металла электрода в кратер шва.

Выбор способа и порядка выполнения сварных швов зависит главным образом от толщины металла и протяженности шва. При сварке тонколистовой стали необходимо строгое соблюдение техники выполнения сварных швов. Особую опасность

представляют сквозные прожоги и проплавление металла.

Сталь толщиной 0,5 ... 1,0 мм следует сваривать внахлестку с проплавлением через верхний лист (рис. 46, а) или встык с укладкой между свариваемыми кромками стальной полосы (рис. 46, б). Во втором случае расплавление кромок должно происходить при косвенном воздействии дуги. Сварку производят на пониженных режимах. Питание дуги — от преобразователя ПС-100-1 или аппарата переменного тока ТС-120, так как они отличаются повышенным напряжением холостого хода и малыми сварочными токами. Рекомендуются следующие режимы сварки:

Толщина металла, мм	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Диаметр электрода, мм	1	1,6...2	2	2,5	3
Сварочный ток, А	10...20	25...35	40...50	50...70	60...90

Применяют электроды с покрытием марок МТ или ОМА-2. Сварку ведут на массивных теплоотводящих медных подкладках. Такой способ теплоотвода предохраняет металл от сквозного прожога и способствует хорошему формированию шва. Тонколистовую сталь можно сваривать с отбортовкой кромок (рис. 46, в). Сварку производят постоянным током неплавящимся электродом (угольным или графитовым) диаметром 6 ... 10 мм при сварочном токе 120...160 А. Применение иных способов сварки тонколистового материала рассмотрено в соответствующих главах.

Металл большой толщины сваривают в несколько проходов, заполняя разделку кромок слоями. При толщине металла 15 ... 20 мм сварку выполняют секциями способом двойного слоя (рис. 47, а). Шов разбивают на участки длиной 250 ... 300 мм и каждый участок заваривают двойным сло-

ем. Второй слой накладывают после удаления шлака по неостывшему первому. При толщине металла 20 ... 25 мм и более применяют сварку каскадом (рис. 47, б) или сварку горкой (рис. 47, в). Каскадный способ заключается в следующем. Весь шов разбивают на участки и сварку ведут непрерывно. Закончив сварку слоя на первом участке, сваривают первый слой на втором участке и продолжают сварку на первом участке, накладывая второй слой по неостывшему первому слою, и т. д. Сварка горкой является разновидностью сварки каскадом, обычно выполняется двумя сварщиками одновременно и ведется от середины шва к краям. Такие способы сварки обеспечивают более равномерное распределение температуры и значительное снижение сварочных деформаций.

Способы выполнения сварных швов по длине зависят от их протя-

женности. Условно принято различать: короткие швы длиной до 250 мм, средние швы длиной 250 ... 1000 мм и длинные швы протяженностью более 1000 мм. Короткие швы выполняют сваркой на проход (рис. 48, а). Швы средней длины сваривают либо от середины к краям (рис. 48, б), либо обратноступенчатым способом (рис. 48, в). Обратноступенчатый способ заключается в том, что весь шов разбивают на участки и каждый участок сваривают в направлении, обратном общему направлению сварки. Конец каждого участка совпадает с началом предыдущего. Длина участка выбирается в пределах 100 ... 300 мм в зависимости от толщины металла и жесткости свариваемой конструкции. Длинные швы сваривают также обратноступенчатым способом.

Сварка при низких температурах отличается следующими основными особенностями. Стали изменяют свои механические свойства, понижается ударная вязкость и уменьшается угол загиба, ухудшаются пластические свойства и несколько повышается хрупкость, а отсюда склонность к образованию трещин. Это особенно заметно у сталей, содержащих углерод более 0,3%, а также у легированных сталей, склонных к закалке. Металл сварочной ванны охлаждается значительно быстрее, а это приводит к повышенному содержанию газов и шлаковых включений и, как следствие, — к снижению механических свойств металла шва. В связи с этим установлены следующие ограничения сварочных работ при низкой температуре. Сварка стали толщиной более 40 мм при температуре 0°С допускается только с подогревом. Подогрев необходим для сталей толщиной 30 ... 40 мм при температуре ниже

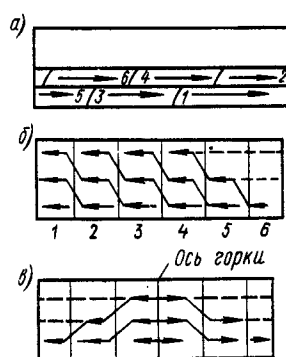


Рис. 47

— 10°С, для сталей толщиной 16... 30 мм при температуре ниже — 20°С и для сталей толщиной менее 16 мм при температуре ниже — 30°С.

Для подогрева применяют горелки, индукционные печи и другие нагревательные устройства. Сварку производят электродами типа Э42А, Э46А, Э50А, обеспечивающими высокую пластичность и вязкость металла шва. Сварочный ток на 15...20% выше нормального. Рабочее место должно быть защищено от ветра и снега.

§ 16. Высокопроизводительные способы сварки

Сварка с глубоким проплавлением (методом опирания). Для получения глубокого проплавления используют электрод 4 (рис. 49) с утолщенным покрытием. Стержень электрода плавится быстрее покрытия, поэтому на конце электрода образуется «чехольчик». Опираясь этим чехольчиком на кромки свариваемого изделия, перемещают электрод вдоль шва 3 без колебательных движений (1 — шлак, 2 — металл шва, 5 — основной металл). Для получения узких швов

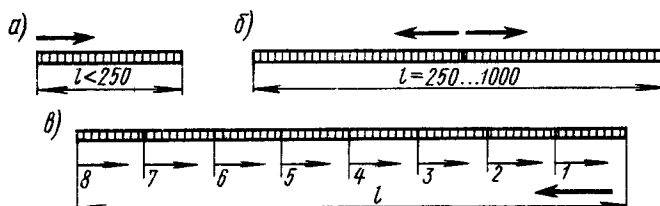


Рис. 48

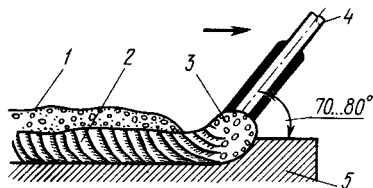


Рис. 49

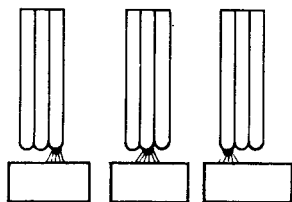


Рис. 50

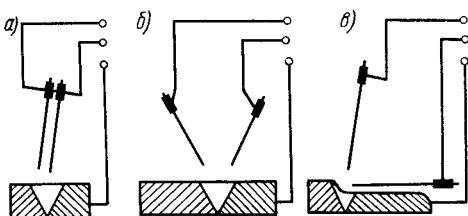


Рис. 51

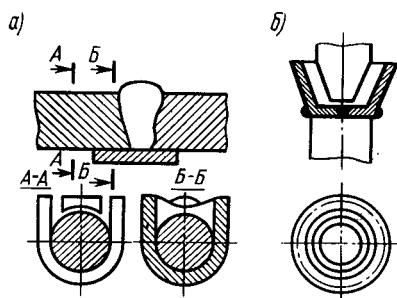


Рис. 52

рекомендуется усиливать нажим на электрод в направлении сварки, а для получения широких швов нажим необходимо ослаблять.

Такой метод обеспечивает повышение производительности сварки на 50 ... 70% за счет уменьшения расхода наплавляемого металла на единицу длины шва. Короткая дуга и большая концентрация теплоты значительно увеличивают глубину проплавления основного металла. В зак-

рытый чехольчиком зоне дуги потери металла на угар и разбрызгивание минимальные. Сварочный ток может быть повышен на 40 ... 60% по сравнению с нормальным. Метод особенно эффективен при сварке угловых и тавровых соединений в нижнем положении или «в лодочку». Основным электродом для сварки с глубоким проплавлением являются ЦМ-7с. Менее эффективно применение электродов ОММ-5, МЭЗ-04. Сварка таким методом не требует высокой квалификации и легко осваивается сварщиком.

Сварка пучком электродов (рис. 50). Два или несколько электродов с качественным покрытием связывают в двух-трех местах по длине тонкой проволокой, а оголенные от покрытия концы прихватывают сваркой. Через электрододержатель ток подводится одновременно ко всем электродам. Дуга возбуждается на том электроде, который ближе к свариваемому изделию. По мере проплавления дуга переходит от одного электрода к другому. При таком методе электрод нагревается значительно меньше, что позволяет работать при больших токах. Например, при трех электродах диаметром 3 мм допустимый сварочный ток достигает 300 А. Потери металла на угар и разбрызгивание не возрастают. При этом производительность сварки повышается в 1,5 ... 2 раза. Коэффициент наплавки электродов увеличивается, так как стержни электродов все время подогреваются теплотой дуги. Однако пучком электродов невозможно обеспечить хороший провар корня шва. Поэтому приходится предварительно одиночным электродом проваривать корень разделки и затем производить сварку шва пучком электродов. Этот метод дает высокую производительность при наплавочных работах.

Сварка трехфазной дугой. Сварка осуществляется двумя электродами, изолированными друг от друга (рис. 51, а). К электрододержателю подводят две фазы источника тока, а третью фазу подводят к свариваемому изделию. Возбуждаются и одно-

временно горят три сварочные дуги: по одной между каждым электродом и изделием и третья между электродами. Такая схема значительно повышает устойчивость горения дуги, улучшает степень использования теплоты дуги и позволяет снизить напряжение холостого хода. Для сварки применяют электроды марок ЦМ-7, ОММ-5, УОНИ-13.

При сварке трехфазной дугой применяют также следующие схемы: сварку двумя одинарными электрододержателями (рис. 51, б); сварку одним одинарным электрододержателем и вторым электродом, уложенным в разделку шва изолированно от свариваемого изделия (рис. 51, в); сварку пучком электродов, из которых только два токоведущие, а остальные холостые (т. е. не включены в сварочную цепь и расплавляются от теплоты дуги). Сварка трехфазной дугой применима при любых соединениях в нижнем и наклонном положениях. Такой метод особенно можно рекомендовать для сварки в нижнем положении и «в лодочку» угловых и тавровых соединений.

Сварка ванным способом. Ванный способ применяют при сварке стыков арматуры железобетонных конструкций (рис. 52, а). Сущность способа заключается в следующем: к стержням арматуры в месте стыка приваривают стальную форму, в которой теплотой дуги создают ванну расплавленного металла, непрерывно подогреваемую дугой. От теплоты металла ванны плавятся торцы свариваемых стержней, образуется общая ванна металла шва и затем при остывании — сварное соединение. При сварке вертикальных швов в качестве формирующей детали применяют штампованную форму из листовой стали (рис. 52, б), которую приваривают к нижнему стержню. Затем прихватывают конец верхнего стержня к нижнему и переходят к заполнению формы наплавляемым металлом. Для выпуска шлака прожигают электродом отверстия в стенке формы, которые затем заваривают. Процесс сварки ведут при больших токах. Напри-

мер, для электродов диаметром 5...6 мм сварочный ток достигает 400...450 А. Сварку при низких температурах выполняют током выше установленного на 10...12%. Зазор между торцами свариваемых стержней должен быть не менее удвоенного диаметра электрода. Сварку можно выполнять одним или несколькими электродами одновременно. Рекомендуется применять электроды марки УОНИ-13/55 (типа Э50А). Ванный способ значительно уменьшает расход электродов и электроэнергии и снижает трудоемкость и себестоимость сварочных работ.

§ 17. Деформации и напряжения при сварке

Сварочные деформации и напряжения являются следствием многих причин. Они значительно снижают механическую прочность сварной конструкции. Основными причинами возникновения сварочных деформаций и напряжений являются неравномерное нагревание и охлаждение изделия, литейная усадка наплавленного металла и структурные превращения в металле шва.

Неравномерное нагревание и охлаждение вызывают тепловые напряжения и деформации. При сварке происходит местный нагрев небольшого объема металла, который, расширяясь, воздействует на близлежащие менее нагретые слои металла. Напряжения, возникающие при этом, зависят главным образом от температуры нагрева, коэффициента линейного расширения и теплопроводности свариваемого металла. Чем выше температура нагрева, а также чем больше коэффициент линейного расширения и ниже теплопроводность металла, тем большие тепловые напряжения и деформации развиваются в свариваемом шве.

Литейная усадка вызывает напряжения в сварном шве в связи с тем, что при охлаждении объем наплавленного металла уменьшается. Вследствие этого в близлежащих слоях металла возникает растягивающие

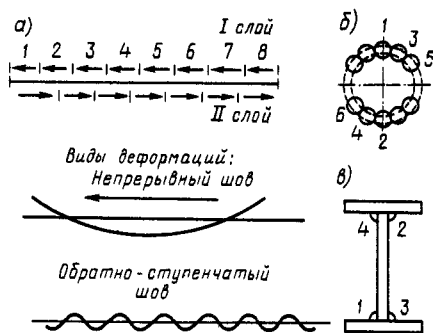


Рис. 53

силы. Чем меньше количество расплавленного металла, тем меньше возникают напряжения и деформации.

Структурные превращения вызывают растягивающие и сжимающие напряжения в связи с тем, что они в некоторых случаях сопровождаются изменением объема свариваемого металла. Например, у углеродистых сталей при нагреве происходит образование аустенита из феррита — этот процесс сопровождается уменьшением объема. При больших скоростях охлаждения высокоуглеродистых сталей аустенит образует мартенситную структуру, менее плотную, чем аустенит; этот процесс сопровождается увеличением объема. При сварке низкоуглеродистой стали напряжения, возникающие от структурных превращений, небольшие и практического значения не имеют. Стали, содержащие более 0,35% углерода, и большинство склонных к закалке легированных сталей дают значительные объемные изменения от структурных

превращений. Вследствие этого развивающиеся напряжения оказываются достаточными для возникновения трещин в шве.

Внутренние напряжения уменьшают прочность сварной конструкции. Кроме того, если сварной шов нагружен внешними силами, то внутренние напряжения, накладываясь на напряжения от внешних сил, снижают запас прочности конструкции, а в некоторых случаях могут вызвать ее разрушение. Для уменьшения внутренних напряжений и деформаций применяют ряд технологических мер и приемов наложения сварных швов. Важное значение имеют правильный выбор конструкции изделия, расположение сварных швов, последовательность их выполнения и режимы сварки.

Уменьшения внутренних напряжений достигают следующими мерами. Длинные швы выполняют обратноступенчатым способом на проход (рис. 53, а). Многослойную сварку выполняют каскадным способом или горкой. При этом хорошие результаты дает послойная проковка шва (кроме первого и последнего слоя). Швы накладывают с таким расчетом, чтобы последующий шов вызывал деформации, обратные возникшим от предыдущего шва (рис. 53, б, в). Последовательность выполнения швов должна допускать свободную деформацию элементов конструкций. Например, при сварке настила из нескольких листов следует в первую очередь выполнять швы, соединяющие листы полос, и лишь затем швы, соединяющие эти полосы между собой (рис. 54).

Для вязких металлов могут быть рекомендованы способы сварки, значительно снижающие остаточные деформации. Первый способ: элементы свариваемой конструкции закрепляют в сборочно-сварочном приспособлении, в котором изделие собирают, сваривают и оставляют до полного остывания. Второй способ, широко применяемый на практике, заключается в интенсивном отводе теплоты, например, частичным погружением изделия в воду, охлаждением струей

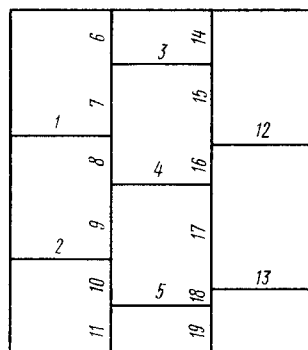


Рис. 54

воды, применением различных мед-ных подкладок.

У сталей, склонных к образованию закалочных структур, резкое охлаждение сварного шва и околшовоной зоны вызывает значительные внутренние напряжения и даже появление трещин в наплавленном металле. Для уменьшения разности температур в изделии и обеспечения медленного охлаждения применяют предварительный подогрев изделия. При сварке в условиях низких температур такой подогрев обязателен даже для низкоуглеродистых сталей.

Для снятия внутренних напряжений иногда применяют термическую обработку сварных изделий, главным образом отжиг или нормализацию. Отжиг применяют полный или низко-температурный. Полный отжиг заключается в нагреве изделия до 800 ... 950°C, выдержке при этой температуре и последующем медленном охлаждении вместе с печью. В результате такой обработки пластичность и вязкость наплавленного металла и металла зоны термического влияния возрастают, а твердость металла снижается. При этом в сварном изделии

полностью снимаются внутренние напряжения. Низкотемпературный отжиг (или высокий отпуск) заключается в нагреве сварного изделия до 600 ... 650°C, выдержке при этой температуре и последующем охлаждении вместе с печью. Так как температура нагрева ниже критической, структурные изменения в металле не происходят. При меньших температурах нагрева сварочные напряжения снимаются частично.

Нормализация заключается в нагреве изделия до температуры на 30 ... 40°C выше критической, выдержке при этой температуре и охлаждении на воздухе (т. е. с несколько большей скоростью, чем при отжиге). Такая обработка является наилучшей для сварных изделий, так как не только снимает внутренние напряжения, но позволяет получить мелкозернистую структуру металла. Особенно следует рекомендовать нормализацию для сварных изделий из низкоуглеродистых сталей, содержащих углерода менее 0,25%. Для термообработки крупногабаритных сварных изделий применяют мощные термопечи.

ГЛАВА 7

АВТОМАТИЧЕСКАЯ И ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКАЯ СВАРКА ПОД ФЛЮСОМ

§ 18. Сущность и преимущества

Автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом — один из основных способов выполнения сварочных работ в промышленности и строительстве. Обладая рядом важных преимуществ, она существенно изменила технологию изготовления сварных изделий, таких, как стальные конструкции, трубы большого диаметра, котлы, корпуса судов. Вследствие изменения технологии изготовления произошли изменения и самих сварных конструкций: широко применяются сварно-литые и сварно-кованные изделия, дающие огромную экономию металла и труда. Однако многие сварочные операции по технологической необходимости выпол-

няют ручной дуговой сваркой. При ручной дуговой сварке непрерывность процесса обеспечивает сварщик, подавая электрод в зону дуги и перемещая дугу вдоль свариваемого шва. Процесс ручной сварки, обладая рядом преимуществ, имеет два недостатка — малую производительность и неоднородность шва, зависящих от квалификации сварщика. Кроме того, производительность ручной сварки ограничивается максимально допустимым значением сварочного тока для применяемых при ручной сварке диаметров электродов. При больших токах электрод длиной 350 ... 450 мм сильно перегревается, что затрудняет нормальный процесс сварки.

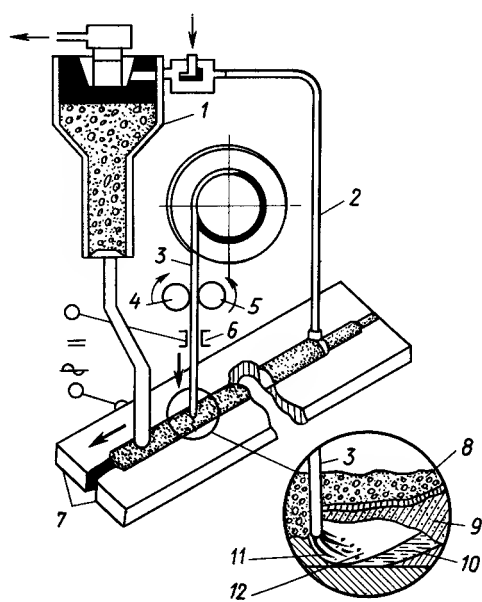


Рис. 55

Механизация движений электрода позволила автоматизировать процесс сварки. Для получения качественных сварных швов взамен электродных покрытий применяют гранулированное вещество, называемое флюсом. Основные принципы автоматической сварки под флюсом были разработаны Н. Г. Славяновым в 1892 г. В 1927 г. Д. А. Дульчевский разработал способ электродуговой сварки под слоем флюса и создал первую автоматическую установку для сварки металлов. Дальнейшее развитие автоматической сварки и внедрение ее в промышленность и строительство осуществлялось Институтом электросварки им. Е. О. Патона, ЦНИИТмашем, ВНИИ электросварочного оборудования и другими организациями.

Автоматическая сварка под флюсом производится с помощью автоматической установки (сварочная головка или сварочный трактор). Эта установка подает электродную проволоку и флюс в зону сварки, перемещает дугу вдоль свариваемого шва и поддерживает стабильное ее горение.

Принципиальная схема автоматической сварки под флюсом представлена на рис. 55. Электродная про-

волока 3 с помощью ведущего 5 и нажимного 4 роликов подается в зону сварки. Кромки свариваемого изделия 7 в зоне сварки покрываются слоем флюса, подаваемого из бункера 1. Толщина слоя флюса составляет ~ 30 ... 50 мм. Сварочный ток подводится от источника тока к электроду через токоподводящий мунштук 6, находящийся на небольшом расстоянии (40 ... 60 мм) от конца электродной проволоки. Благодаря этому при автоматической сварке можно применять большие сварочные токи. Дуга 11 возбуждается между свариваемым изделием и электродной проволокой. При горении дуги образуется ванна расплавленного металла 10, закрытая сверху расплавленным шлаком 9 и оставшимся нерасплавленным флюсом 8. Нерасплавившийся флюс отсасывается шлангом 2 обратно в бункер. Пары и газы, образующиеся в зоне дуги, создают вокруг дуги замкнутую газовую полость 12. Некоторое избыточное давление, возникающее при термическом расширении газов, отбрасывает жидкий металл в сторону, противоположную направлению сварки. У основания дуги (в кратере) сохраняется лишь тонкий слой металла. В таких условиях обеспечивается глубокий провар основного металла. Так как дуга горит в газовой полости, закрытой расплавленным шлаком, то значительно уменьшаются потери теплоты и металла на угар и разбрызгивание.

По мере перемещения дуги вдоль разделки шва наплавленный металл остывает и образует сварной шов. Жидкий шлак, имея более низкую температуру плавления, чем металл, затвердевает несколько позже, замедляя охлаждение металла шва. Продолжительное пребывание металла шва в расплавленном состоянии и медленное остывание способствуют выходу на поверхность всех неметаллических включений и газов, получению чистого, плотного и однородного по химическому составу металла шва.

Автоматическая сварка под флюсом имеет следующие основные преимущества перед ручной сваркой:

высокая производительность, превышающая производительность ручной сварки в 5 ... 10 раз. Она обеспечивается применением больших токов, более концентрированным и полным использованием теплоты в закрытой зоне дуги, снижением трудоемкости за счет автоматизации процесса сварки;

высокое качество сварного шва вследствие хорошей защиты металла сварочной ванны расплавленным шлаком от кислорода и азота воздуха, легирования металла шва, увеличения плотности металла при медленном охлаждении под слоем застывшего шлака;

экономия электродного металла при значительном снижении потерь на угар, разбрызгивание металла и огарки. При ручной сварке эти потери достигают 20 ... 30%, а при автоматической сварке под флюсом они не превышают 2 ... 5%;

экономия электроэнергии за счет более полного использования теплоты дуги. Затраты электроэнергии при автоматической сварке уменьшаются на 30 ... 40%.

Кроме этих преимуществ, следует отметить, что при автоматической сварке условия труда значительно лучше, чем при ручной сварке: дуга закрыта слоем шлака и флюса, выделение вредных газов и пыли значительно снижено, нет необходимости в защите глаз и кожи лица сварщика от излучения дуги, а для вытяжки газов достаточно естественной вытяжной вентиляции. К квалификации оператора автоматической сварочной установки предъявляются менее высокие требования.

Однако автоматическая сварка имеет и недостатки: ограниченная маневренность сварочных автоматов, сварка выполняется главным образом в нижнем положении.

§ 19. Сварочные флюсы

Флюсы служат для защиты наплавляемого металла от воздуха и для легирования металла шва необходимыми присадками. Взаимодействуя в процессе сварки с жидким металлом, расплавленный флюс в значительной

степени определяет химический состав металла, а следовательно, и его механические свойства. Образуя затем над металлом шва корку шлака, флюс способствует медленному остыванию металла, выходу на поверхность газов и шлаковых включений и тем самым образованию плотного и высококачественного шва. При этом корка шлака легко отделяется от металла шва. Флюс также способствует устойчивому горению дуги и стабильному течению процесса сварки.

По способу изготовления флюсы делятся на плавленные и неплавленные.

Плавленные флюсы являются основными при автоматической сварке металла. Они изготавливаются в соответствии с требованиями ГОСТ 9087-81. Флюсы АН-348-А, АН-348-АМ, АН-348-В, АН-348-ВМ, ОСЦ-45, ОСЦ-45М, АН-60 и ФЦ-9 предназначены для механической сварки и наплавки углеродистых и низколегированных сталей углеродистой и низколегированной сварочной проволокой. Флюс АН-8 применяют при электрошлаковой сварке углеродистых и низколегированных сталей и сварке низколегированных сталей углеродистой и низколегированной сварочной проволокой. Флюсы АН-15М, АН-18, АН-20С, АН-20СМ и АН-20П служат для дуговой автоматической сварки и наплавки высоколегированных и среднелегированных сталей соответствующей сварочной проволокой. Флюс АН-22 предназначен для электрошлаковой сварки и дуговой автоматической наплавки и сварки низко- и среднелегированных сталей соответствующей проволокой. Флюсы АН-26С, АН-26СП и АН-26П применяют при автоматической и полуавтоматической сварке нержавеющих, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей соответствующей сварочной проволокой. Флюсы АН-17М, АН-43 и АН-47 предназначены для дуговой сварки и наплавки углеродистых, низко- и среднелегированных сталей повышенной и высокой прочности соответствующей проволокой.

Нормальные флюсы содержат зерна размером 0,35 ... 3 мм. Флюсы мелкой грануляции состоят из зерен

Марка флюса	SiO ₂	MnO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃
АН-348-А	41,0...44,0	34,0...38,0	≤ 6,5	5,0...7,5	≤ 4,5
ОСЦ-45	38,0...44,0	38,0...44,0	≤ 6,5	≤ 2,5	≤ 5,0
АН-348-АМ	41,0...44,0	34,0...38,0	≤ 6,5	5,0...7,5	≤ 4,5
ОСЦ-45М	38,0...44,0	38,0...44,0	≤ 6,5	≤ 2,5	≤ 5,0
АН-60	42,5...46,5	36,0...41,0	3,0...11,0	0,5...3,0	≤ 5,0
АН-8	33,0...36,0	21,0...26,0	4,0...7,0	5,0...7,5	11,0...15,0
АН-20С	19,0...24,0	≤ 0,5	3,0...9,0	9,0...13,0	27,0...32,0
АН-20СМ					
АН-20П					
АН-22	18,0...21,5	7,0...9,0	12,0...15,0	11,5...15,0	19,0...23,0
АН-26СП					
АН-26С					
АН-26П	29,0...33,0	2,5...4,0	4,0...8,0	15,0...18,0	19,0...23,0
ФЦ-9					
	38,0...41,0	38,0...41,0	≤ 6,5	≤ 2,5	10,0...13,0

Продолжение табл. 10

Марка флюса	CaF ₂	K ₂ O и Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	S	P	C	
			не более				
АН-348-А	4,0...5,5	—	2,0	0,15	0,12		
ОСЦ-45	6,0...9,0	—	2,0	0,15	0,15		
АН-348-АМ	3,5...4,5	—	2,0	0,15	0,12	—	
ОСЦ-45М	6,0...9,0	—	2,0	0,15	0,10	—	
АН-60	5,0...8,0	—	1,5	0,15	0,15	—	
АН-8	13,0...19,0	—	1,5...3,5	0,15	0,15	—	
АН-20С	25,0...33,0	2,0...3,0	1,0	0,08	0,05	—	
АН-20СМ							
АН-20П							
АН-22	20,0...24,0	1,0...2,0	1,0	0,05	0,05	—	
АН-26СП	20,0...24,0	—	1,5	0,10	0,10	0,05	
АН-26С							
АН-26П							
ФЦ-9	2,0...3,0	—	2,0	0,10	0,10	—	

размером 0,25...1,0 мм и обозначении марки имеют конечную букву М. Флюсы, маркируемые буквами АН, разработаны Институтом электросварки имени Е. О. Патона, а флюсы, маркируемые буквами ОСЦ и ФЦ, — ЦНИИТмашем.

Флюсы изготовляют следующим образом: исходные материалы (марганцевая руда, кварцевый песок, доломит, мел, плавиковый шпат и др.) размалывают до необходимых размеров, перемешивают в определенных массовых соотношениях и помещают для плавки в пламенные печи или в электропечи. Расплавленный флюс выпускают в проточную воду, где он остывает и растрескивается на мелкие частицы. Затем флюс сушат в барабанах или в сушильных шкафах при

температуре 300 ... 350° С и просеивают через сито. Химический состав (%) плавных флюсов для автоматической и полуавтоматической сварки приведен в табл. 10.

В состав указанных марок флюса в качестве основных компонентов входят марганец в виде оксида марганца (II) и кремний в виде кремнезема SiO₂. Марганец, обладая большим сродством к кислороду, восстанавливает содержащиеся в наплавляемом металле оксиды железа, кроме того, образуя с серой сульфид MnS, способствует удалению ее в шлак. При сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей высокомарганцевистые флюсы легируют металл шва. Кремний способствует снижению пористости металла шва, так как подавляет

процесс образования оксида углерода СО, который является одной из основных причин образования пор в наплавленном металле. Кремний также является хорошим раскислителем, но как легирующий элемент при сварке под флюсом имеет ограниченное применение.

Неплавляемые флюсы изготавливают следующим образом: исходные материалы предварительно тонко размалывают и замешивают в строго определенных соотношениях с водным раствором жидкого стекла. Полученную тестообразную массу протирают через сито, обеспечивающее получение частиц необходимой грануляции. Затем сушат в сушильных печах в течение 15 ... 20 мин при температуре 150° С и прокаливают при температуре 300 ... 350° С.

Неплавляемые керамические флюсы, предложенные акад. К. К. Хреновым, позволяют значительно проще легировать металл шва различными при-

месями. Для этого в состав флюса вводят необходимое количество легирующих примесей в виде металлического порошка, минеральных веществ или ферросплавов. По сравнению с плавными вторым важным преимуществом керамических флюсов является их малая чувствительность к ржавчине, окалине и влаге на поверхности свариваемых кромок деталей. Это особенно важно при строительномонтажных работах на открытом воздухе.

Керамические флюсы имеют в своем составе не только минеральные шлакообразующие вещества, но и ферросплавы, которые обеспечивают хорошее раскисление металла шва и необходимое его легирование. При изготовлении керамических флюсов ферросилиций и ферромарганец следует подвергать пассивированию. Составы керамических флюсов, %:

Наименование компонентов:	К-2	КС-1	КВС-19	К-11
Титановый концентрат	55	—	—	—
Марганцевая руда	—	—	54	60
Кварцевый песок	—	—	30	20
Алюминиевая пудра	—	—	2	—
Ферромарганец	14	0,5	—	—
Ферросилиций	8	0,8	7	10
Ферротитан	—	6,0	—	—
Диоксид титана	—	15,0	—	—
Мрамор	—	57,7	—	—
Полевой шпат	13	—	—	—
Плавиковый шпат	10	20,0	7	10
Жидкое стекло (в % к массе сухой смеси)	13	15,0	15...17	17

§ 20. Оборудование для сварки под флюсом

Магнитные флюсы относятся также к неплавляемым. По технологии изготовления и применению они аналогичны керамическим. Кроме веществ, входящих в состав керамических флюсов, магнитные флюсы содержат железный порошок, который не только придает им магнитные свойства, но и способствует повышению производительности сварки. Флюс подается через сопло дозирующим устройством автомата (или полуавтомата). Под действием магнитного поля сварочного тока флюс притягивается к зоне сварки. При этом обеспечивается минимальный расход флюса и появляется возможность качественной сварки вертикальных швов.

В практике нашли широкое применение два вида автоматического оборудования: подвесные (неподвижные и самоходные) головки и сварочные тракторы.

Автомат производит следующие операции: возбуждение дуги, непрерывную подачу в зону дуги электродной проволоки и флюса, перемещение сварочной дуги вдоль свариваемого шва, гашение дуги в конце сварки. Важным условием, обеспечивающим нормальный устойчивый процесс автоматической сварки, является равенство скорости подачи электродной проволоки и скорости ее плавления. Это

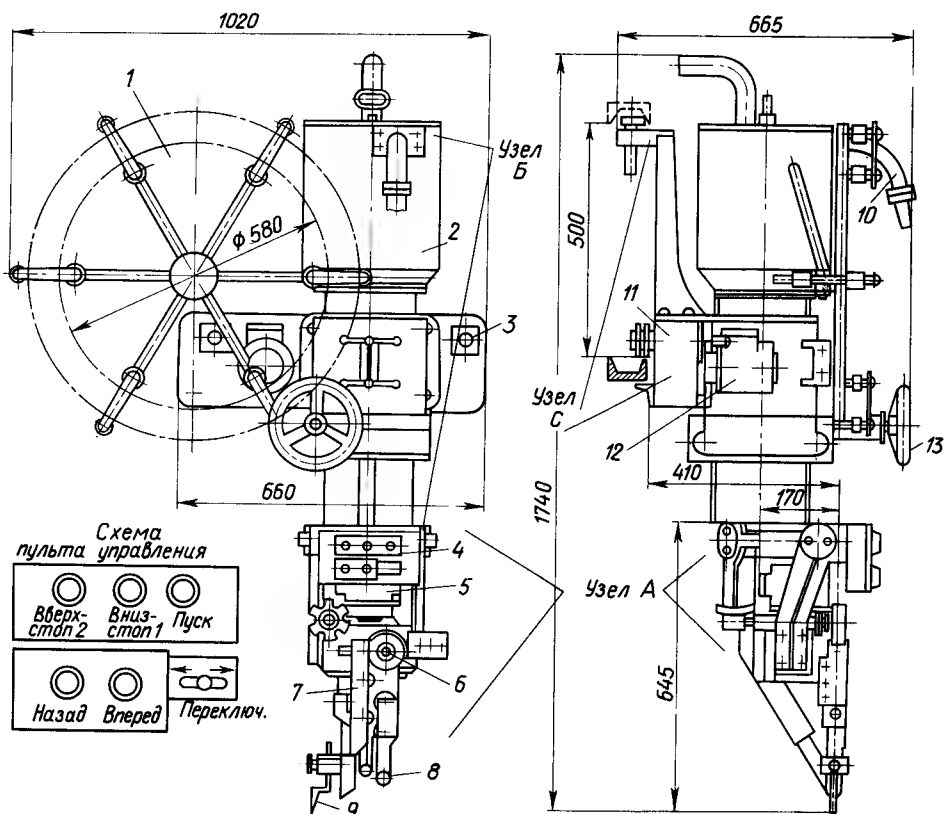


Рис. 56

условие в процессе сварки нарушается различными факторами: изменениями напряжения в сети, нечеткой работой подающего механизма, неровностями поверхностей свариваемых кромок, при которых изменяется дуговой промежуток, и др. Для того чтобы процесс сварки протекал устойчиво, а длина дуги сохранялась постоянной, применяют автоматы двух типов: автоматы с переменной скоростью подачи электродной проволоки, зависящей от величины дугового промежутка, и автоматы с постоянной скоростью подачи электродной проволоки.

Автоматы с переменной скоростью подачи электродной проволоки имеют сложную электрическую схему и поэтому получили ограниченное применение (при низких напряжениях и малых сварочных токах). Бóльшее применение в сварочном производстве получили автоматы с постоян-

ной скоростью подачи электродной проволоки. Они работают по схеме, предложенной в 1942 г. В. И. Дятловым (Институт электросварки им. Е. О. Патона). Электродвигатель, обеспечивающий через редуктор и ролики подачу электродной проволоки, питается непосредственно от сети. Поэтому скорость вращения электродвигателя будет постоянна независимо от длины (следовательно, и напряжения) дуги.

Саморегулирование осуществляется следующим образом. Если в процессе сварки длина дуги уменьшится (например, из-за неровностей на поверхности свариваемых кромок), то напряжение на дуге понизится. Так как внешняя характеристика источника питания дуги падающая, то уменьшение напряжения приведет к возрастанию сварочного тока и тем самым к увеличению скорости плавления электродной проволоки (ско-

рость плавления проволоки почти пропорциональна сварочному току). Повышение скорости плавления проволоки при постоянной скорости ее подачи приведет к удлинению дуги, т. е. к восстановлению установленного режима сварки. Если же длина дуги увеличится, то напряжение возрастет и в соответствии с внешней характеристикой источника тока сварочный ток понизится. Следовательно, скорость плавления электродной проволоки уменьшится, что при постоянной скорости ее подачи приведет к сокращению дугового промежутка. Процесс саморегулирования протекает нормально при питании дуги постоянным током. При переменном токе для устойчивой работы автомата колебания напряжения в сети не должны превышать 6 ... 8%.

Автоматические подвесные головки неподвижные и самоходные разработаны Институтом электросварки им. Е. О. Патона, ЦНИИТмашем и заводом «Электрик». Автоматическая головка АБС (рис. 56) конструкции Института электросварки им. Е. О. Патона состоит из трех отдельных узлов.

У з е л А — собственно сварочная головка — состоит из электродвигателя 5, механизма подачи проволоки 6 с правильным механизмом 7, токо-

подводящего мундштука 8, корректировочного механизма 9 для направления головки по шву и трехкнопочного пульта управления 4. Набор сменных шестерен механизма подачи позволяет изменять скорость подачи электродной проволоки от 28,5 до 225 м/ч. У з е л Б — подвесной механизм — состоит из подъемного механизма 13 для подвески и вертикального подъема сварочной головки, флюсоаппарата 2 для подачи флюса в зону дуги и отсасывания неиспользованного флюса обратно в бункер (отсос 10) и кассеты 1 с электродной проволокой. У з е л С представляет собой самоходную тележку 11, состоящую из электродвигателя 12, от которого движение (через фрикционное устройство 3, червячные передачи и одну сменную пару шестерен) передается ведущим бегунам тележки. Сменные шестерни позволяют изменять скорость перемещения тележки, т. е. скорость сварки, от 13,5 до 112 м/ч.

Головка АБС предназначена для сварки стыковых, угловых и нахлесточных швов. При этом узлы, входящие в головку АБС, позволяют использовать ее как подвесную неподвижную (А или АБ) и как самоходную (АБС). Краткая техническая характеристика сварочной головки АБС:

Сварочный ток, А	380...2000
Диаметр электродной проволоки, мм	2...6
Скорость подачи электродной проволоки, м/мин	0,5...3,75
Допустимая поперечная корректировка от оси шва, мм	± 75
Наклон мундштука, град:	
поперек шва к вертикали	± 45
вдоль шва к вертикали	60
Наибольший возможный вертикальный подъем, мм	200
Скорость перемещения головки вдоль шва (скорость сварки), м/ч	13,5...112
Электродвигатель:	
Мощность, Вт	100
Частота вращения, мин ⁻¹	1450
Масса головки без флюса и проволоки, кг:	
АБ	120
АБС	160
Масса кассеты с электродной проволокой, кг	13...15

Сварочные тракторы являются более эффективными и маневренными сварочными аппаратами. Сварочный трактор представляет собой автоматическую головку, установленную на самоходной тележке, которая переме-

щается с помощью электродвигателя по свариваемому изделию или по направляющему рельсовому пути вдоль свариваемого шва. Применяются сварочные тракторы типа ТС конструкции Института электросварки

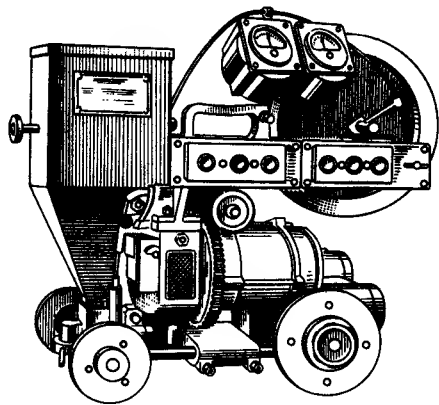


Рис. 57

им. Е. О. Патона, типа АДС конструкции завода «Электрик» и типа УТ конструкции ЦНИИТмаша.

Сварочный трактор ТС-17М (рис. 57) применяется при изготовлении и монтаже различных строительных конструкций (ферм, мачт, балок), при сварке под флюсом наружных и внутренних кольцевых швов, а также при сварке труб и резервуаров диаметром более 800 мм. Им можно сваривать все виды швов в нижнем положении. Трактор имеет один электродвигатель трехфазного тока, который приводит в движение механизм подачи электродной проволоки и механизм передвижения трактора вдоль свариваемого шва. Подающий механизм состоит из понижающего редуктора и двух роликов (ведущего и прижимного), между которыми протаскивается электродная проволока. Механизм передвижения трактора состоит из редуктора и двух ведущих бегунов, вал которых соединен с редуктором фрикционной муфтой. Наличие сменных шестерен позволяет в широких пределах изменять скорость подачи электродной проволоки и скорость передвижения трактора в соответствии с режимом сварки. В комплекте трактора имеется два токоподводящих мундштука. Для электродной проволоки диаметром 1,6...2,0 мм применяют трубчатый мундштук с бронзовым наконечником, смещенным к оси трубки, который обеспечивает хороший электрический контакт с электродной проволокой.

Для электродной проволоки большего диаметра применяют мундштук с двумя бронзовыми контактами, между которыми перемещается проволока. Правка электродной проволоки осуществляется специальным правильным механизмом, состоящим из трех роликов.

Сварочный трактор снабжен двумя бункерами для флюса: один бункер применяют при сварке вертикальным электродом, а второй — при сварке наклонным электродом. Толщина насыпаемого слоя флюса устанавливается вертикальным перемещением патрубков, по которым подается флюс в разделку кромок. Если сваривают стыковой шов без разделки кромок, то трактор направляют вручную. Если сваривают шов с разделкой кромок, то на одну из штанг подвески устанавливают копир, состоящий из двух последовательно расположенных роликов, которые при сварке катятся по разделке кромок и тем самым направляют трактор вдоль свариваемого шва. При сварке угловых швов «в лодочку» копировальным элементом служит ролик, закрепленный на штанге и катящийся по углу свариваемого шва. Трактор имеет трехкнопочный пульт управления. Кроме того, есть дополнительный пульт управления, используемый при сварке кольцевых швов на цилиндрических изделиях (котлы, цистерны или иные резервуары), для управления электродвигателем стенда, на котором вращается свариваемое изделие.

Сварочный трактор АДС-1000-2 (рис. 58) состоит из самоходной каретки 7, на которой закреплена вертикальная колонка 5 с подъемным механизмом 6. Эта колонка удерживает на себе коромысло 4. На одной стороне коромысла установлена автоматическая головка 10 с подающим механизмом 8 и бункер для флюса 11, а на другой стороне — кассета 2 с электродной проволокой и приборы пульта управления 1. Автоматическая головка может поворачиваться вокруг оси коромысла на 45° в обе стороны, а относительно оси вертикальной колонки на 180°. Подъемный механизм головки состоит из червячной пары

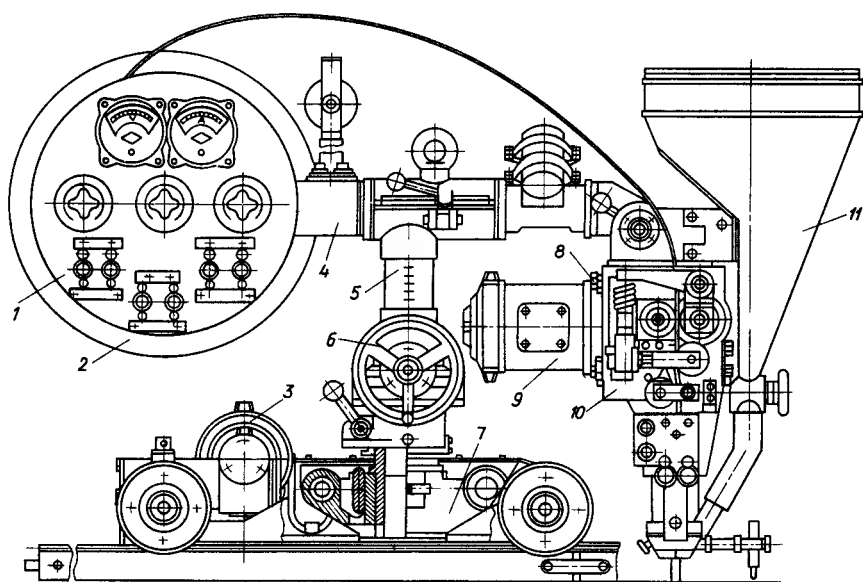


Рис. 58

и направляющей колонки. В отличие от сварочных тракторов типа ТС и УТ трактор АДС-1000-2 имеет регулировку скорости подачи электродной проволоки в зависимости от напряжения сварочной дуги. Трактор снабжен электродвигателем постоянного тока 9 для механизма подачи электродной проволоки и электродвигателем постоянного тока 3 для перемещения катетки трактора. Эти двигатели питаются от отдельных генераторов постоянного тока, которые приводятся во вращение электродвигателем переменного тока. У генератора, питающего электродвигатель механизма подачи электродной проволоки, имеется дополнительная обмотка возбуждения; эта обмотка питается от сварочной цепи через селеновые выпрямители. Благодаря этому удается автоматически регулировать скорость подачи электродной проволоки в зависимости от напряжения дуги. При увеличении напряжения дуги повышается частота вращения электродвигателя, увеличивается скорость подачи проволоки и тем самым уменьшается дуговой промежуток, а следовательно, и напряжение дуги. При уменьшении дугового промежутка напряжение дуги падает, частота вращения электродвигателя снижается, подача электродной

проволоки замедляется и автоматически восстанавливается принятый режим сварки. Для плавного изменения частоты вращения электродвигателей постоянного тока в обмотку возбуждения генераторов, питающих эти двигатели, включают потенциометры. Питание сварочным током трактора производится от сварочного аппарата переменного тока ТСД-1000-3. Пульт управления трактора состоит из контрольных приборов, показывающих напряжение и сварочный ток, ручек потенциометров, служащих для установки режима сварки, кнопок пуска двигателя и включения автомата, подъема и опускания электродной проволоки и дистанционного управления сварочным трансформатором ТСД-1000-3 при установлении сварочного тока.

Шланговые полуавтоматы сочетают в себе универсальность и маневренность ручной сварки с преимуществами автоматической сварки под флюсом. Полуавтомат производит только подачу электродной проволоки в зону дуги, а дугу вдоль свариваемого шва перемещает сварщик с помощью специального электрододержателя. Сварка производится при повышенных плотностях тока — до 200 А/мм², что позволяет применять электроды

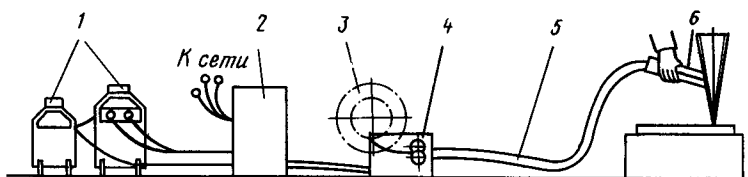


Рис. 59

трудную проволоку диаметром 1,2... 2,5 мм. Высокие плотности тока повышают температурный режим сварки, коэффициент плавления и глубину провара шва. Вследствие этого допускается некоторое уменьшение разделки кромок, а значит уменьшается необходимый расход электродной проволоки на единицу длины шва. При этом не только повышается производительность сварки, но и значительно сокращается расход электроэнергии. В сварочном производстве получили большое распространение шланговые полуавтоматы ПШ-5, ПШ-54, разработанные Институтом электросварки им. Е. О. Патона, и ПДШ-500 завода «Электрик».

На рис. 59 представлена схема шлангового полуавтомата ПШ-54. Он состоит из источника тока 1, шкафа управления 2, кассеты с электродной проволокой 3, механизма подачи проволоки 4, гибкого шланга 5, который заканчивается держателем 6. Бухта электродной проволоки заправляется в кассету после тщательной очистки от грязи, масла и ржавчины. Электродная проволока подается с помощью электродвигателя трехфазного тока мощностью 100 Вт, который через редуктор вращает ведущий ролик механизма подачи. Между ведущим и прижимным роликами протаскивается электродная проволока. Переключая шестерни коробки скоростей, можно изменять скорость пода-

чи электродной проволоки в пределах 78... 600 м/ч.

Шланговый провод (рис. 60) длиной 3,5 м и диаметром 27 мм служит для подачи электродной проволоки 1 по центральному каналу в зону дуги. В шланг вмонтированы провод 4 для подвода сварочного тока и провода 3 управления пуском и выключением электродвигателя механизма подачи, включением и выключением сварочного тока (2 — стальная спираль, 5 — изоляция). Держатель (рис. 61) представляет собой трубчатый мундштук с ручкой и специальной воронкой для флюса. Воронка вмещает 1,5 кг флюса и снабжена пластинчатой заслонкой. Шкаф управления содержит контрольные приборы (амперметр и вольтметр) и устройства для включения и выключения системы управления. Электродвигатель для подачи электродной проволоки и ток сварочной цепи у полуавтомата ПШ-54 включаются при замыкании сварочной проволоки на изделие; процесс сварки прекращается при удалении держателя от поверхности свариваемого изделия, т. е. обрывом сварочной дуги.

В полуавтоматах ПШ-5 электродвигатель механизма подачи электродной проволоки и ток сварочной цепи включаются и выключаются с помощью пусковой кнопки на рукоятке.

Шланговый полуавтомат ПДШ-500 имеет по сравнению с полуавтоматами типа ПШ две существенные особенности. Полуавтомат работает по принципу зависимости скорости подачи электродной проволоки от напряжения дуги, и поэтому электрическая схема саморегулирования режима сварки сходна со схемой автоматической головки АДС-1000. Второй особенностью является принудительная подача флюса сжатым воздухом

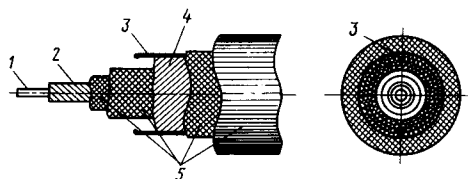


Рис. 60

по шлангу через держатель в зону сварки. Подающий механизм, смонтированный на подвижной тележке, работает от электродвигателя постоянного тока через понижающий редуктор. Ведущий и прижимной ролики подают электродную проволоку из кассеты по шлангу в зону сварки. Скорость подачи электродной проволоки устанавливают реостатом, включенным в цепь обмотки электродвигателя. На тележке укреплен бункер с устройством для пневматической подачи флюса в зону сварки. Воздух используется от заводской воздушной сети или от компрессора. На панели тележки установлены измерительные приборы и устройства управления.

Шланговые автоматы отличаются от полуавтоматов тем, что вместо держателя для ручного перемещения сварочной дуги применяется самоходная сварочная головка легкого типа с электродвигателем и устройством для перемещения ее по свариваемому изделию вдоль шва. Шланговый автомат АДШ-500 конструкции завода «Электрик» имеет два типа самоходных головок: ГСА-1-2 и ГСА-2-2.

Головка ГСА-1-2 предназначена для приварки к горизонтальной плоскости различных полос, ребер или других профильных элементов высотой 50 ... 160 мм. Головку ГСА-2-2 применяют для тех же работ, но при высоте привариваемых элементов более 160 мм. Головка прижимается к свариваемому изделию электромагнитами, полюсами которых служат катки тележки. Сварочный ток устанавливается в пределах 150 ... 600 А. Для включения и выключения сварочного тока автомат оборудован дистанционным кнопочным устройством. Автомат позволяет производить сварку со скоростью 10 ... 65 м/ч. Флюс подается в зону сварки сжатым воздухом. Тележка с механизмом подачи и бункером для флюса перемещается вслед за самоходной головкой благодаря натяжению гибкого шланга, по которому подается сварочная проволока. Шланг диаметром 36 мм имеет длину 2,5 ... 3,5 м. Контрольные приборы —

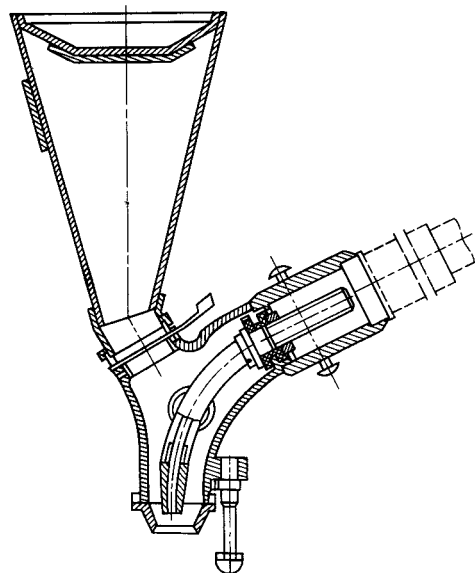


Рис. 61

амперметр и вольтметр, а также маховичок потенциометра для плавного регулирования скорости сварки — смонтированы на корпусе механизма подачи электродной проволоки. Масса самоходной головки составляет 10 ... 12 кг.

Для повышения производительности сварки при малых диаметрах электродной проволоки Институтом электросварки им. Е. О. Патона разработан способ шланговой многоэлектродной сварки. Такой способ предусматривает подачу в зону дуги с одинаковой скоростью одновременно трех электродных проволок диаметром 1,6 ... 2,0 мм. Это позволяет применять сварочные токи до 800 ... 1000 А и тем самым значительно повысить производительность сварки. Важным преимуществом этого способа является также возможность легирования металла свариваемого шва. Для этой цели применяется легированная сварочная проволока.

Установки и приспособления для сварки, служащие для механизации вспомогательных работ, могут быть разбиты на две основные группы: универсальные и специализированные. Универсальные установки и приспособления применяют при разнообраз-

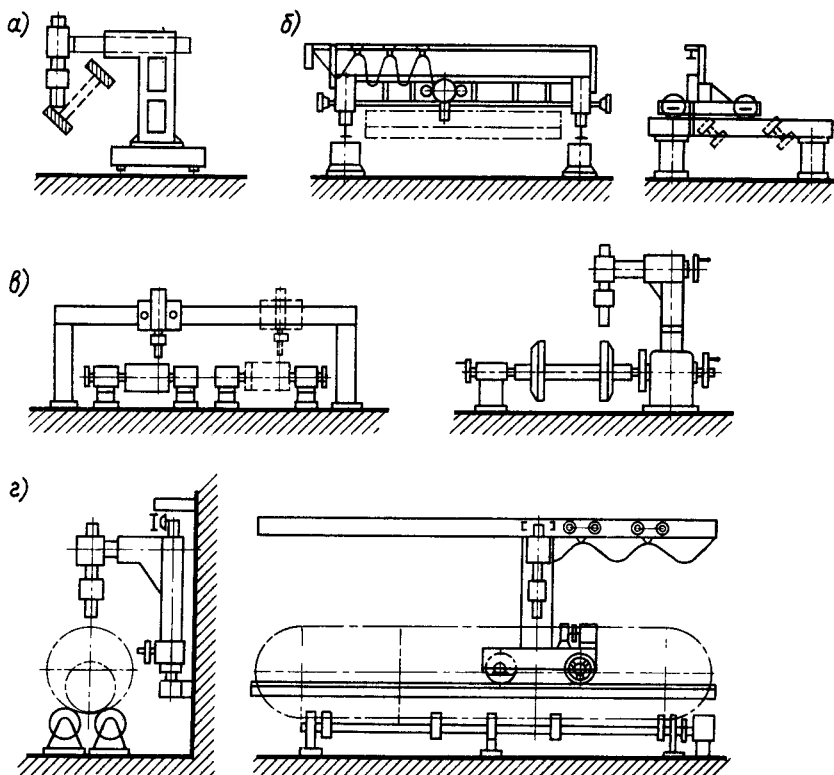


Рис. 62

ных сварочных работах. К ним относятся устройства и приспособления общего назначения: стелы и кантователи различной конструкции, струбцины, винтовые стяжки, правильные скобы, хомуты, домкраты и др. Специализированные установки и приспособления разрабатывают и применяют при серийном и массовом производстве. Они представляют собой стелы и установки с неподвижными и подвижными фиксаторами, имеющими зажимные устройства с механическим, пневматическим, гидравлическим или электрическим приводами. Такие устройства позволяют быстро и с достаточной точностью фиксировать взаимное расположение элементов свариваемой конструкции, значительно сокращая объем разметочных и проверочных работ.

Все устройства и приспособления разрабатывают по мере необходимости заводы-изготовители строительных монтажных конструкций. Некото-

рые приспособления показаны на рис. 62:

установка для сварки прямолинейных швов в нижнем положении при изготовлении сварных балок, колонн и других изделий с несамородной сварочной головкой (рис. 62, а), с самородной сварочной головкой (рис. 62, б). Самородная сварочная головка установлена на тележке, которая, перемещаясь по рельсовому пути (привод — от отдельного электродвигателя), обеспечивает движение дуги вдоль свариваемого шва.

Сварочный ток от источника питания подводится по проводам, которые подвешены на передвижных подвесках. Скорость перемещения тележки устанавливается переключением шестерен редуктора в пределах 15 ... 65 м/ч. Установка допускает сварку балок и колонн длиной не более 10 м и высотой не более 800 ... 1000 мм;

установка для сварки кольцевых швов (рис. 62, в). Сварочная головка закреплена неподвижно, а изготавливаемое изделие вращается на роликовом стенде;

установка для сварки как прямолинейных, так и кольцевых швов (рис. 62, г). Автоматическая головка может перемещаться вдоль свариваемого изделия. Кроме того, в фиксированном положении она может выполнять кольцевые швы. Для этого изделие вращают с помощью механического привода или электропривода. Такая установка позволяет сваривать продольные и кольцевые швы только с наружной стороны.

Успешно применяется сварка продольных и кольцевых швов снаружи и изнутри сварочным трактором. При сварке продольных швов сварочный трактор движется по самому изделию вдоль шва. При сварке кольцевых швов трактор перемещается по обечайке со скоростью, равной скорости ее вращения, но в противоположную сторону. Таким образом, сварочный трактор остается на месте, а свариваемый шов подается под трактор.

§ 21. Технология сварки

Конструктивные элементы основных типов швов сварных соединений из углеродистых или низколегированных сталей, свариваемых автоматической и полуавтоматической сваркой под флюсом, установлены ГОСТ 8713—79. В зависимости от толщины свариваемого металла и способа сварки ГОСТ устанавливает формы разделки кромок для каждого вида соединения. Требования к подготовке кромок и сборке изделия под сварку более высокие, чем при ручной сварке. Эти требования вытекают из условий автоматической сварки. Настроенный под определенный режим автомат точно выполняет установленный процесс сварки и не может учесть и выправить отклонения в разделке кромок и сборке изделия. Разделку кромок производят машинной кислородной или плазменно-дуговой резкой, а также на металлорежущих станках.

Свариваемые кромки перед сборкой должны быть тщательно очищены от ржавчины, грязи, масла, влаги и шлаков. Это особенно важно при больших скоростях сварки, когда различные загрязнения, попадая в зону дуги, приводят к образованию пор, раковин и неметаллических включений. Очистку кромок производят пескоструйной обработкой или протравливанием и пассивированием. Очистке подвергается поверхность кромок шириной 50 ... 60 мм по обе стороны от шва. Перед сваркой детали закрепляют на стендах или иных устройствах с помощью различных приспособлений или прихватывают ручной сваркой электродами с качественным покрытием. Прихватки длиной 50 ... 70 мм располагают на расстоянии не более 400 мм друг от друга, а крайние прихватки — на расстоянии не менее 200 мм от края шва. Прихватки должны быть тщательно очищены от шлака, брызг металла.

При сварке продольных швов для ввода электрода в шов и вывода его из шва за пределы изделия по окончании сварки к крокам приваривают вводные и выводные планки. Форма разделки планок должна соответствовать разделке кромок основного шва.

Режим автоматической сварки: сварочный ток, напряжение дуги, диаметр, угол наклона и скорость подачи электродной проволоки, скорость сварки и основные размеры разделки кромок — выбирают в зависимости от толщины свариваемых кромок, формы разделки и свариваемого металла.

Стыковые швы выполняют с разделкой и без разделки кромок. При этом шов может быть одно- и двусторонним, одно- и многослойным.

Односторонняя стыковая сварка применяется в малоответственных сварных соединениях или в случаях, когда конструкция изделия не позволяет производить двустороннюю сварку шва. Значительный объем расплавленного металла, большая глубина проплавления и некоторый перегрев ванны могут привести к вытеканию металла в зазоры и нарушению про-

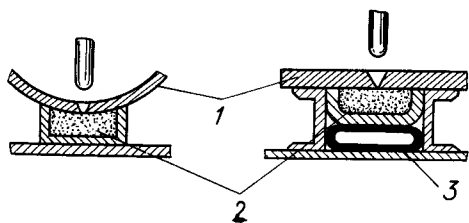


Рис. 63.

цесса формирования шва. Чтобы избежать этого, следует закрыть обратную сторону шва стальной или медной подкладкой, флюсовой подушкой или проварить шов с обратной стороны.

В практике применяют четыре основных приема выполнения односторонней сварки стыковых швов, обеспечивающих получение качественного сварного шва.

Сварка на флюсовой подушке (рис. 63) заключается в том, что под свариваемые кромки изделия 1 подводят флюсовую подушку 2 — слой флюса толщиной 30 ... 70 мм. Флюсовая подушка прижимается к свариваемым кромкам под действием собственной массы изделия или с помощью резинового шланга 3, наполненного воздухом. Давление воздуха в зависимости от толщины свариваемых изделий составляет 0,05 ... 0,06 МПа для тонких и 0,2 ... 0,25 МПа для толстых кромок. Флюсовая подушка не допускает подтекания расплавленного металла и способствует хорошему формированию металла шва.

Примерные режимы автоматической односторонней стыковой сварки на флюсовой подушке даны в табл. 11.

Сварка на медной подкладке применяется для большего теплоотвода в целях предупреждения пережога ме-

талла кромок. Вместе с тем подкладка, установленная с нижней стороны шва, предупреждает протекание жидкого металла сварочной ванны. Подкладка прижимается к шву с помощью механических или пневматических приспособлений. После сварки подкладка легко отделяется от стальных листов. При зазоре между свариваемыми кромками более 1 ... 2 мм медную подкладку делают с желобком, куда насыпают флюс. В этом случае на обратной стороне шва образуется сварной валик. Ширина медной подкладки составляет 40 ... 60 мм, а толщину подкладки (5 ... 30 мм) выбирают в зависимости от толщины свариваемых кромок.

Институтом электросварки им. Е. О. Патона разработан метод сварки, при котором по обратной стороне шва перемещается медный башмак, охлаждаемый водой (рис. 64). При этом свариваемые листы собирают с зазором 2 ... 3 мм и через каждые 1,2 ... 1,5 м скрепляют сборочными планками путем прихватки короткими сварными швами. Сварочный трактор 2 имеет нож 5, устанавливаемый в зазор стыка и прижимающий пружиной 1 тягу 4 с роликами 6 и медным башмаком 3 к нижней стороне свариваемых кромок. Нож направляет трактор вдоль свариваемого шва. Башмак, перемещаясь вместе с трактором, все время находится под сварочной дугой, предупреждая протекание жидкого металла и формируя нижнюю сторону шва. По мере приближения трактора к сборочным планкам их удаляют ударами молотка.

Сварка на стальной подкладке производится в тех случаях, когда конст-

Таблица 11

Толщина кромок, мм	Ширина зазора, мм	Сварочный ток, А	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч
10	3...4	700...750	62	34...36	30
12	4...5	750...800	67	36...40	27
14	4...5	850...900	78	36...40	25
16	5...6	900...950	84	38...42	20
18...20	5...6	950...1000	92	40...44	17...15

рукция изделия допускает приварку подкладки с обратной стороны шва. Стальную подкладку плотно подгоняют к плоскости свариваемых кромок и прикрепляют короткими швами ручной дуговой сваркой. Затем автоматической сваркой выполняют основной шов, проваривая одновременно основной металл и металл подкладки. Размеры подкладки зависят от толщины свариваемых кромок. Обычно подкладку изготовляют из стальной полосы шириной 20 ... 60 мм и толщиной 4 ... 6 мм.

Сварка после предварительного наложения подварочного шва вручную применяется для упрощения процесса сборки изделия. Однако такой способ автоматической сварки значительно увеличивает затраты труда и материалов и поэтому его следует применять реже.

Режимы автоматической сварки стыковых швов тонколистовых изделий даны в табл. 12.

Двусторонняя стыковая сварка дает более высококачественный шов, обеспечивая хороший провар шва даже при некотором смещении свариваемых кромок. При изготовлении строительно-монтажных конструкций двусторонний способ сварки является основным. Стыковое соединение сваривают автоматом сначала с одной стороны так, чтобы глубина проплавления составляла 60 ... 70% толщины металла шва. Зазор между кромками должен быть минимальным, не более 1 мм. При этом сварку выполняют на весу без подкладок и уплотнений с обратной стороны стыка. При не-

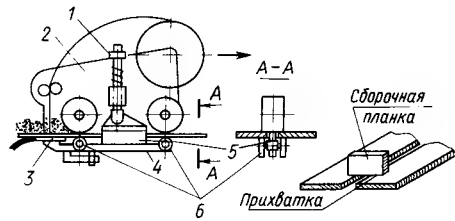


Рис. 64

возможности выдержать зазор между кромками менее 1 мм принимают меры по предупреждению подтекания жидкого металла, так же как это делают при односторонней сварке, т. е. производят сварку на флюсовой подушке, медной подкладке, на стальной подкладке или применяют прихватку ручной дуговой сваркой.

Примерные режимы двусторонней автоматической сварки стыковых соединений без разделки кромок на флюсовой подушке электродной проволокой диаметром 5 ... 6 мм даны в табл. 13.

Тавровые и нахлесточные соединения сваривают вертикальным электродом при положении шва «в лодочку» (рис. 65, а) или наклонным, если один из листов занимает горизонтальное положение (рис. 65, б). При этом в зависимости от толщины свариваемых кромок и назначения соединения сварка может быть выполнена без разделки кромок, с одно- или с двусторонней разделкой кромок (рис. 66, а, б, в).

При зазоре между кромками менее 1 мм сварку «в лодочку» выполняют на весу. При больших зазорах сварку производят на флюсовой

Таблица 12

Толщина кромок, мм	Способ сварки	Зазор, мм	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Диаметр электрода, мм	Скорость сварки, м/ч
1,5	На медной подкладке	0,3	150...170	26	1,6	50...60
1,5	На весу	0,2	100...115	26	1,2	50
2,0	На флюсовой подушке	0,8	120...130	24...28	1,6	40...50
2,0	На стальной подкладке	0,7	270...300	23...27	3,0	75...80
2,0	На весу	0,3	120...130	26...28	1,6	50...60
3,0	На флюсовой подушке	1,5	270...300	28...30	2,0	35...60
3,0	На стальной подкладке	0,7	270...300	23...27	3,0	50...60
3,0	На весу	0,8	160...200	28...30	1,0	70...80
4,0	На флюсовой подушке	1,5	375...400	28...30	2,0	40...50
5,0	о же	2,5	550...625	28...30	4,0	35...45

Толщина кромок, мм	Наименование шва	Зазор, мм	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	Скорость сварки, м/ч
6	Основной	0...1,5	600	34...36	47,0	55,0
	Подварочный		500		50,0	43,5
8	Основной	0...1,5	650	34...36	46,0	62,2
	Подварочный		550		50,0	40,3
10	Основной	0...2,0	720	36...38	43,0	69,7
	Подварочный		650		43,0	60,8
14	Основной	0...2,5	850	38...40	34,0	87,7
	Подварочный		750	36...38		73,5
20	Основной	3	950	38...40	24,0	111,0
	Подварочный		900		24,0	102,0
24	Основной	4	1050	38...40	18,0	72,8
	Подварочный				19,0	
30	Основной	4,5	1150	40...42	15,0	82,4
	Подварочный				16,0	
40	Основной	6,5	1200	40...42	8,5	87,0
	Подварочный				9,5	
50	Основной	9,0	1300	42...44	6,0	98,8
	Подварочный				7,0	

подушке или на подкладках. Допускается заделка зазора асбестовым уплотнением или подварка шва с обратной стороны. Сварка «в лодочку» обеспечивает равномерное проплавление свариваемых кромок и получение качественного шва большого сечения за один проход; в большинстве случаев для выполнения сварного соединения изделие устанавливают на кантователь.

Сварку тавровых и нахлесточных соединений при горизонтальной или вертикальной полке производят наклонным электродом с углом наклона к горизонтальной полке 20 ... 30°. Недостатком такого способа сварки является невозможность получить шов с катетом более 16 мм, что иногда приводит к необходимости многослойной сварки. Примерные режимы авто-

матической сварки швов тавровых и нахлесточных соединений, выполняемых «в лодочку» электродной проволокой диаметром 5 мм, даны в табл. 14.

При полуавтоматической сварке сварщик перемещает дугу вдоль свариваемого шва либо на себя, либо справа налево. Держатель опирается на кромки свариваемого изделия и тем самым поддерживается постоянно в пределах 15 ... 25 мм. Благодаря повышенной плотности тока и более сосредоточенному вводу теплоты глубина провара при шланговой сварке возрастает на 30 ... 40%. Устойчивость горения дуги также значительно повышается, что позволяет сваривать листы малых толщин (0,8 ... 1,0 мм) и угловые швы катетом до 2 мм при сварочных токах 80 ... 100 А.

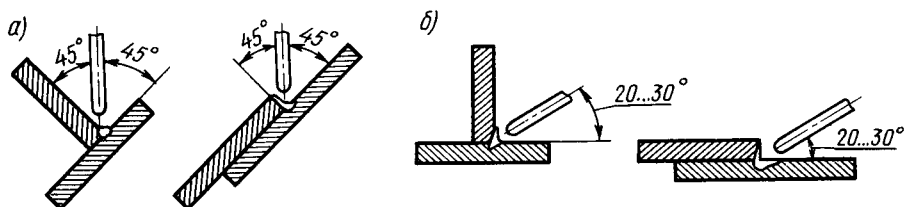


Рис. 65

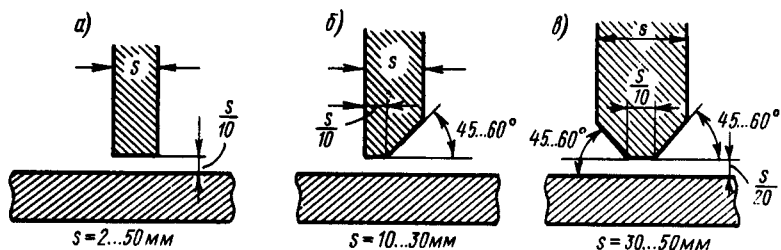


Рис. 66

Стыковые швы с зазором более 1,0 ... 1,5 мм сваривают на флюсовой подушке или на подкладках. При этом держателю придают поперечные колебательные движения. Тавровые и нахлесточные соединения рекомендуется выполнять электродной проволокой диаметром 1,6 ... 2,0 мм на постоянном токе обратной полярности. Зазор между свариваемыми кромками не должен превышать 0,8 ... 1,0 мм. Примерные режимы шланговой сварки электродной проволокой диаметром 2 мм под флюсом АН-348-А стыковых швов даны в табл. 15, а угловых швов тавровых соединений — в табл. 16.

Качественный шов за один проход шланговой сваркой можно получить при катете шва не более 8 мм. При катетах более 8 мм производят многослойную сварку шва.

§ 22. Электрошлаковая сварка

Электрошлаковая сварка, разработанная Институтом электросварки им. Е. О. Патона, является самым высокопроизводительным способом автоматической сварки металла значительной толщины.

Электрошлаковой сваркой называется сварка плавлением, при которой для нагрева свариваемых кромок и электродной проволоки используется теплота, выделяющаяся при прохождении электрического тока через расплавленный шлак.

Схема электрошлаковой сварки представлена на рис. 67. В пространство между свариваемыми кромками 1 изделия и шлакоудерживающими приспособлениями (медными ползунами 2, начальными планками

3) вводятся флюс и электродная проволока. Процесс сварки начинается с возбуждения дуги между электродной проволокой и начальной планкой.

Таблица 14

Катет шва, мм	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч
5	600...650	34...36	58,0	60,7
6	650...700	34...36	47,0	67,3
7	700...730	34...36	38,5	71,1
8	700...750	34...36	32,0	73,5
9	750...780	34...36	27,5	78,0
10	750...800	34...36	24,0	81,3
12	850...900	34...36	19,0	95,3
14	900...950	36...38	16,0	103,0
16	950...1000	38...40	13,0	111,0

Таблица 15

Толщина кромок, мм	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	Скорость сварки, м/ч
4	220...240	30...32	101,0	20...24
6	300...350	32...34	156,0	20...24
8	450...475	34...36	308,0	22...26
10	475...525	36...38	346,0	24...30
12	525...575	38...40	378,0	24...30

Таблица 16

Катет шва, мм	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	Скорость сварки, м/ч
4	250...300	30...32	126	35...40
6	300...350	32...34	156	24...30
8	350...400	34...36	260	20...24

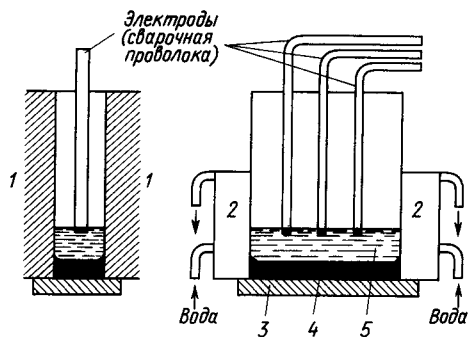


Рис. 67

Теплотой дуги расплавляются флюс и электродная проволока. Образуется ванна расплавленного металла 4, покрытая слоем жидкого шлака 5. Сварочный ток, проходя через расплавленный шлак, нагревает его до температуры 1600 ... 1700° С. Электродная проволока, находясь в ванне нагретого шлака, плавится, и дуга гаснет. Дальнейший бездуговой процесс плавки происходит за счет теплоты, выделяемой в шлаке сварочным током. По мере заполнения шва металлом медные ползуны, охлаждаемые проточной водой, перемещаются снизу вверх и формируют сварной шов.

Применяя электрошлаковую сварку несколькими электродными проволоками или электродами в виде ленты, можно сваривать кромки изделия практически любой толщины. Таким образом разрешена проблема

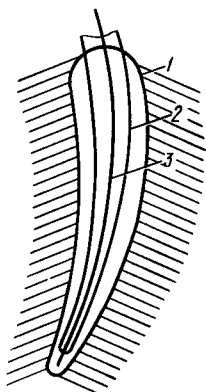


Рис. 68

однoproходной сварки толстого металла.

Важным преимуществом электрошлаковой сварки является возможность сварки швов сложной конфигурации (рис. 68), при этом электродная проволока 3 подается через плавящийся мундшук 2, форма которого соответствует форме свариваемого шва 1. Мундшук плавится вместе с электродной проволокой, заполняя свариваемый шов металлом.

Качество металла шва получается значительно выше, чем при автоматической сварке под флюсом. Это объясняется постоянным наличием над металлом шва жидкой фазы металла и нагретого шлака, что способствует более полному удалению газов и неметаллических включений. Резко снижается влияние на качество шва влажности флюса, ржавчины и различных загрязнений свариваемых кромок изделия. Трудоемкость операций по подготовке изделия под сварку снижается за счет исключения работ по разделке и подготовке кромок к сварке. Кромки обрезают кислородной резкой под прямым углом к поверхности свариваемых листов. Удельный расход электроэнергии, флюса и электродной проволоки сокращается, так как процесс протекает в замкнутой системе при небольшом количестве флюса и полном использовании электродного металла. Увеличенный вылет электродной проволоки и значительные плотности тока обеспечивают высокую производительность наплавки, достигающую 27 кг/ч, в то время как при автоматической сварке под флюсом она составляет 12 кг/ч, а при ручной — только 2 кг/ч. Расход электроэнергии на 1 кг наплавленного металла уменьшается вдвое, а расход флюса — в 20 ... 30 раз по сравнению с автоматической сваркой под флюсом.

Производительность электрошлаковой сварки превышает производительность автоматической сварки под флюсом в 7 ... 10 раз, а при большой толщине свариваемых кромок она в 15 ... 20 раз выше производительности многослойной автомати-

ческой сварки. Постепенный подогрев свариваемых кромок и замедленный нагрев околошовной зоны уменьшают возможность образования в ней закалочных структур. Поэтому при электрошлаковой сварке самозакаливающихся сталей образование закалочных трещин менее вероятно. Освоение электрошлаковой сварки позволило заменить громоздкие и тяжелые цельнолитые и цельнокованные станины и корпуса более легкими и компактными сварно-литыми и сварно-коваными.

Для производства электрошлаковой сварки разработаны три типа аппаратов: 1) рельсовые аппараты, перемещающиеся по вертикальным рельсам или направляющим вдоль свариваемого шва. К ним относятся аппараты А-372Р, А-433Р и А-681; 2) безрельсовые аппараты, движущиеся по свариваемому изделию и связанные с ним механическим креплением (аппараты А-306М и А-340М; 3) шагающие магнитные аппараты, перемещающиеся по свариваемому изделию с помощью системы шагающих электромагнитов.

Источниками питания многоэлектродных аппаратов для электрошлаковой сварки являются трехфазные сварочные трансформаторы ТШС-1000-3 и ТШС-3000-3 конструкции Института электросварки им. Е. О. Патона. Они обеспечивают в каждой фазе сварочный ток соответственно в 1000 и 3000 А. Первичная и вторичная обмотки трансформаторов состоят из секций с отводами; это позволяет изменять вторичное напряжение от 38 до 54 В.

Трансформаторы работают с принудительным охлаждением (ТШС-1000-3 — воздушное, а ТШС-3000-3 — водяное). При отсутствии этих трансформаторов можно применять трансформаторы ТСД-500, ТСД-1000-3, ТСД-2000, СТН-750 и др.

Для электрошлаковой сварки применяют флюсы марок АН-8 и АН-22 (см. табл. 10).

Электрошлаковой сваркой можно выполнять не только стыковые, но и тавровые, угловые и кольцевые соединения. Например, при сварке кольцевых стыков котельных барабанов применяют трехэлектродные аппараты А-385 и А-401. При толщине стенки кольцевого стыка 90 мм и внутреннем диаметре 1300 мм аппаратом А-385 шов заваривается за один проход примерно за 2 ч. Многослойная автоматическая сварка под флюсом потребовала бы 10 ... 12 ч. Для сварки прямолинейных швов применяют двухэлектродный аппарат А-372Р, работающий на сварочных токах 400 ... 1000 А при напряжении 48 ... 50 В и скорости подачи электродной проволоки 150 ... 500 м/ч.

Сварка изделий толщиной до 150 мм производится аппаратом А-681. Применяется электродная проволока марок Св-10Г2 или Св-10ГА диаметром 2 ... 3 мм. Аппарат имеет подающий механизм ПШ-54. Масса аппарата — 8 кг. Малая масса, простота установки, настройки и эксплуатации позволяют широко применять аппарат А-681 при строительно-монтажных работах.

ГЛАВА 8

СВАРКА В ЗАЩИТНОМ ГАЗЕ

§ 23. Сущность и преимущества

Сварка в защитном газе является одним из способов дуговой сварки. При этом в зону дуги подается защитный газ, струя которого, обтекающая электрическую дугу и сварочную ванну, предохраняет расплавленный металл от воздействия атмосферного воздуха, окисления и азотирования.

Известны следующие разновидности сварки в защитном газе: в инертных одноатомных газах (аргон, гелий), в нейтральных двухатомных газах (азот, водород), в углекислом газе. В практике наиболее широкое применение получили аргонодуговая сварка и сварка в углекислом газе. Инертный газ гелий применяется очень редко ввиду его большой стоимости.

Сварка в двухатомных газах (водород и азот) имеет ограниченное применение, так как водород и азот в зоне дуги диссоциируют на атомы ($\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{H} + \text{H}$; $\text{N}_2 \rightleftharpoons \text{N} + \text{N}$) и в таком состоянии активно взаимодействуют с большинством металлов.

Сварку в защитном газе можно выполнять вручную, полуавтоматически и автоматически. Ручная сварка применяется при соединении кромок изделий толщиной до 25 ... 30 мм и при выполнении коротких и криволинейных швов. Полуавтоматическая и автоматическая сварка применяется при массовом производстве сварных конструкций с прямолинейными швами.

Сварка производится как неплавящимся, так и плавящимся электродом. Неплавящиеся электроды служат только для возбуждения и поддержания горения дуги. Для заполнения разделки кромок в зону дуги вводят присадочный металл в виде прутков или проволоки. Применяются неплавящиеся электроды: вольфрамовые, угольные и графитовые. Вольфрамовые электроды изготавливают из проволоки марки ВТ-15 диаметром 0,8 ... 6 мм, содержащей 1,5 ... 2,0% диоксида тория. Торий способствует более легкому возбуждению и устойчивому горению дуги. Однако торий является радиоактивным веществом и его применение сопряжено с соблюдением специальных санитарных правил. Для сварки алюминия и его сплавов успешно применяют электроды из проволоки марки ВЛ-10 (вольфрам с присадкой лантана). Лантан снижает расход вольфрама и повышает устойчивость горения дуги. Расход вольфрама при сварке незначителен и составляет при сварочном токе 300 ... 400 А около 0,05 ... 0,06 г на метр сварного шва. Угольные и графитовые электроды применяют редко, так как они не обеспечивают достаточно устойчивого горения дуги и сварной шов получается пористым с темным налетом. Плавящиеся электроды применяют в виде сварочной проволоки, изготовленной по ГОСТ 2246—70 или из металла, по химическому составу сходного со свариваемым металлом.

Преимущества сварки в защитном газе: хорошая защита зоны сварки от воздействия кислорода и азота воздуха; хорошие механические качества сварного шва; высокая производительность, достигающая при ручной сварке 50 ... 60 м/ч, а при автоматической — 200 м/ч; отсутствие необходимости применения флюсов и последующей очистки шва от шлаков; возможность наблюдения за процессом формирования сварного шва; малая зона термического влияния; возможность полной автоматизации сварки.

§ 24. Защитные газы

Аргон — одноатомный инертный газ без цвета и запаха, тяжелее воздуха. Получают аргон из воздуха, где его содержится 0,935% (по объему). Аргон поставляется по ГОСТ 10157—79 двух сортов: высшего и первого. Высший сорт содержит 99,992% аргона, не более 0,006% азота и не более 0,0007% кислорода. Первый сорт содержит аргона 99,987%, азота — до 0,01% и кислорода — не более 0,002%. Аргон поставляется и транспортируется для использования в газообразном виде в баллонах типа А (ГОСТ 949—73) под давлением 15 МПа. Баллоны окрашены в серый цвет с зеленой полосой и зеленой надписью «Аргон чистый». Аргон не вступает во взаимодействие с расплавленным металлом сварочной ванны и предохраняет его от воздействия кислорода и азота воздуха; применяется при сварке ответственных сварных швов и при сварке высоколегированных сталей, титана, алюминия, магния и их сплавов.

Гелий — одноатомный инертный газ без цвета и запаха. Газообразный гелий производится по ГОСТ 20461—75 двух сортов: высокой чистоты (99,985 гелия) и технический (99,8% гелия). Гелий транспортируется и поставляется в баллонах типа А при максимальном давлении 15 МПа. Баллоны окрашены в коричневый цвет с надписью «Гелий» белого цвета. Гелий используют так же, как аргон, но значительно реже ввиду его дефицитности и высокой стоимости.

Углекислый газ CO_2 не имеет цвета и запаха. Получают его из газообразных продуктов сгорания антрацита или кокса, при обжиге известняка и т. д. Поставляется в сжиженном состоянии в баллонах типа А вместимостью 40 л при максимальном давлении 20 МПа. Сварочная углекислота выпускается двух сортов: высшего — чистой 99,8% и первого — чистой 99,5%. Баллоны с углекислотой окрашивают в черный цвет с желтой надписью « CO_2 сварочный». Углекислый газ, подаваемый в зону дуги, не является нейтральным, так как под действием высокой температуры он диссоциирует на оксид углерода и свободный кислород ($\text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CO} + \text{O}$). При этом происходит некоторое окисление расплавленного металла сварочной ванны и, как следствие, металл шва получается пористым с низкими механическими свойствами. Для уменьшения окислительного действия свободного кислорода применяют электродную проволоку с повышенным содержанием раскисляющих примесей (марганца, кремния). При этом получается беспористый шов с хорошими механическими свойствами. Углекислый газ применяется при сварке низкоуглеродистых и некоторых конструкционных и специальных сталей.

Для снижения влажности углекислого газа рекомендуется устанавливать баллон вентилем вниз. После отстаивания в течение 10...15 мин осторожно открывают вентиль и выпускают из баллона влагу. Перед сваркой необходимо из нормально установленного баллона выпустить небольшое количество газа, чтобы удалить попавший в баллон воздух. Часть влаги задерживается в углекислоте в виде водяных паров, ухудшая при сварке качество шва. Кроме того, при выходе из баллона, от резкого расширения происходит снижение температуры углекислоты и влага, конденсируясь в редукторе, забивает каналы и даже полностью закрывает выход газа. Для предупреждения замерзания влаги между баллоном и редуктором устанавливают электрический подогреватель. Окончательное

удаление влаги после редуктора производится в осушителе, наполненном прокаленным медным купоросом, хромистым кальцием или другим влагопоглощающим веществом.

§ 25. Оборудование для сварки в защитном газе

Аргонодуговая сварка неплавящимся или плавящимся электродом производится на постоянном и переменном токе. *Установка для ручной сварки постоянным током* (рис. 69, а — неплавящимся электродом, б — плавящейся электродной проволокой) состоит из сварочного генератора постоянного тока (или сварочного выпрямителя) 1, балластного реостата 2, газозлектрической горелки 3, баллона с газом, редуктора и контрольных приборов (амперметра, вольтметра и расходомера газа). Источником питания дуги служат сварочные генераторы постоянного тока с жесткой или пологопадающей внешней характеристикой ГСГ-350 или ГСГ-500-2. Балластный реостат РБ-300 или РБ-200 включается в сварочную цепь для регулирования и получения малых значений сварочного тока и повышения устойчивости горения дуги. Газоэлектрические горелки бывают различной конструкции. Наибольшее применение получила горелка типа ЭЗР конструкции ВНИИавтогенмаша. Кироваканский завод автогенного машиностроения выпускает горелки ЭЗР-3-66 для сварки токами до 150 А, ЭЗР-4-68 — для токов до 500 А и ЭЗР-5-71 — для токов до 80 А.

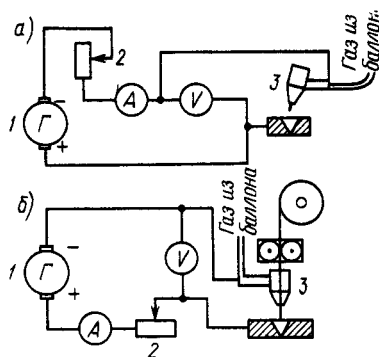


Рис. 69

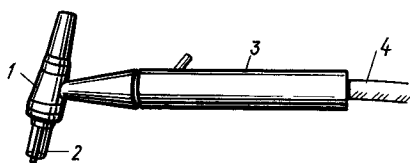


Рис. 70

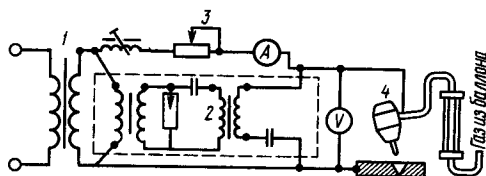


Рис. 71

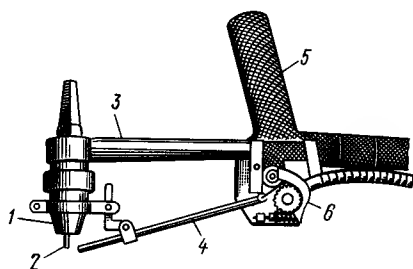


Рис. 72

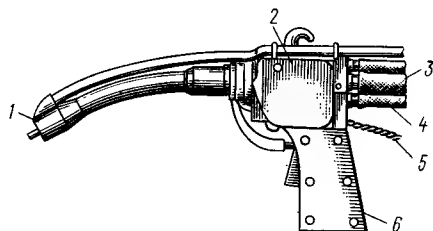


Рис. 73

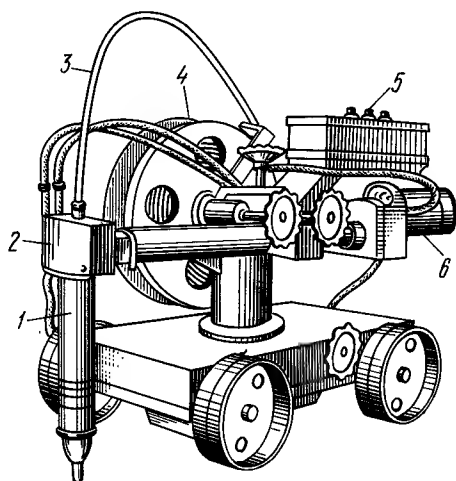


Рис. 74

Горелка ЭЗР-3-66 (рис. 70) состоит из корпуса 1, сменного наконечника 2, рукоятки с устройством включения подачи газа 3 и газотокосопроводящего кабеля 4. Диаметр сопла сменных наконечников — 8 и 10 мм. Они позволяют использовать электроды диаметром 1,5; 2 и 3 мм, рассчитанные на сварочные токи до 150 А. Расход аргона составляет 120...360 л/ч. Масса горелки с газотокосопроводящим кабелем ~ 3 кг. Для сварки при больших сварочных токах 400...450 А применяют также горелки типа АР-10-3 (большая), АР-7Б, АР-9, снабженные системой водяного охлаждения.

Установка для ручной сварки переменным током (рис. 71) состоит из источника питания дуги 1, осциллятора 2, балластного реостата 3, газозлектрической горелки 4, баллона с газом, редуктора и контрольных приборов (амперметра, вольтметра и расходомера газа). Источники питания должны иметь повышенное вторичное напряжение, чтобы обеспечивать устойчивое горение дуги. Для этого в сварочную цепь включают два сварочных трансформатора с последовательно включенными вторичными обмотками или применяют трансформатор типа ТСДА с повышенным вторичным напряжением холостого хода. Осциллятор обеспечивает быстрое и легкое возбуждение и устойчивое горение дуги. Газозлектрические горелки применяют типа ГРАД, отличающиеся легкостью. Горелка ГРАД-200 массой 0,2 кг допускает сварочные токи до 200 А, а горелка ГРАД-400 массой 0,4 кг — до 400 А.

Применяются установки УДАР-300 и УДАР-500 (номинальный сварочный ток 300 и 500 А). Взамен этих установок выпускаются установки УДГ-301 и УДГ-501.

Полуавтоматическая сварка неплавящимся электродом производится шланговым полуавтоматом ПШВ-1 (рис. 72: 1 — сопло, 2 — вольфрамовый электрод, 3 — корпус, 4 — сварочная проволока, 5 — рукоятка, 6 — механизм подачи сварочной проволо-

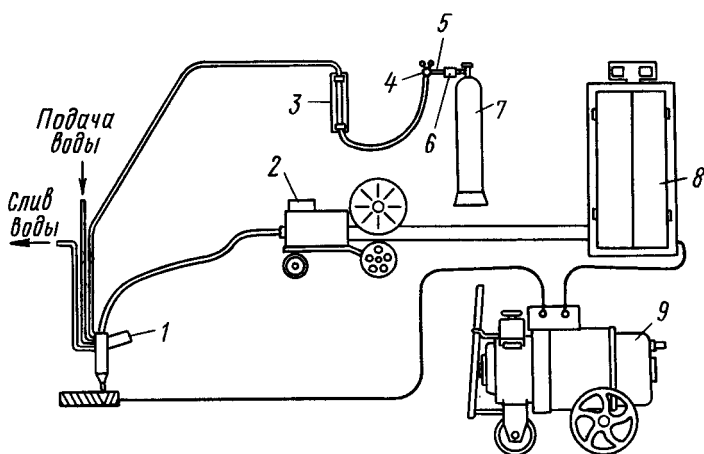


Рис. 75

ки). Он предназначен для сварки металлов толщиной от 0,5 до 5 мм. Полуавтомат снабжен электродвигателем, который через редуктор и гибкий вал, проходящий по шлангу, приводит во вращение ролики, расположенные на газoeлектрической горелке. Ролики протягивают по шлангу присадочную проволоку и подают ее в зону дуги. Скорость подачи проволоки диаметром 1...2 мм устанавливается в пределах 5...50 м/ч. Сварку осуществляют постоянным током или переменным током с включением в сварочную цепь осциллятора. Полуавтомат позволяет выполнять сварку во всех пространственных положениях шва.

Полуавтоматическая сварка плавящимся электродом производится с помощью полуавтоматов ПШПА-6, ПШПА-7 и ПШП-9. Первые два полуавтомата предназначены для сварки электродной проволокой диаметром 1,6...2,5 мм при сварочном токе до 300 А, а последний — для сварки малых толщин металла проволокой диаметром 0,5...1,2 мм при сварочных токах до 180 А. Комплект полуавтомата состоит из переносного пульта управления, механизма подачи электродной проволоки с кассетой и газoeлектрической горелки в виде пистолета. Электродная проволока вытягивается из кассеты по шлангу роликами, расположенными в пистолете. Ролики вращаются электродвигателем через

редуктор с помощью гибкого привода. Пистолет полуавтомата ПШПА-7 (рис. 73) предназначен для сварки многослойных швов деталей из алюминия, магния и их сплавов с толщиной кромок до 100...150 мм. Для предохранения от перегрева пистолет имеет водяное охлаждение. На рисунке: 1 — сопло, 2 — механизм подачи проволоки, 3 — шланг для подачи проволоки, 4 — шланг для подвода аргона, 5 — провода управления, 6 — рукоятка.

Автоматическая сварка может производиться как неплавящимся, так и плавящимся электродом. На рис. 74 представлен автомат УДПГ-300 для сварки в защитном газе. На рисунке: 1 — сварочная головка, 2 — механизм подачи проволоки, 3 — электродная проволока, 4 — кассета с электродной проволокой, 5 — кнопки управления, 6 — электродвигатель механизма подачи. Применяются специализированные сварочные тракторы АДСП-2 для сварки черных и цветных металлов толщиной 0,8 мм и более. Автоматы типа АТВ предназначены для сварки труб различного диаметра неплавящимся вольфрамовым электродом и присадочной проволокой диаметром 1,6...2,0 мм.

Сварка в углекислом газе производится полуавтоматическими и автоматическими аппаратами. Полуавтоматическая установка (рис. 75) состоит из сварочного преобразователя

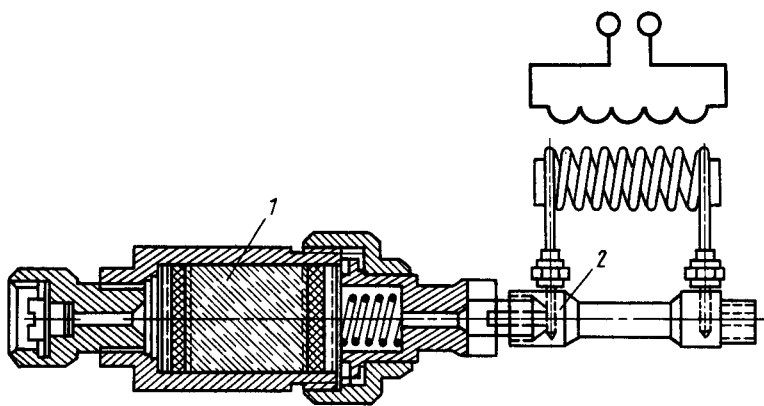


Рис. 76

постоянного тока 9, газозлектрической горелки 1, механизма подачи электродной проволоки 2, аппаратного шкафа 8, баллона с углекислым газом 7, осушителя 5, подогревателя 6, редуктора 4 и расходомера 3. Применяют сварочные преобразователи ПСГ-350 или ПСГ-500-2. Хорошие результаты дают генераторы с жесткой или возрастающей внешней характеристикой.

Газозлектрические горелки служат для подвода газа и подачи электродной проволоки в зону дуги и для подвода сварочного тока к электродной проволоке. Они выпускаются различных типов для малых сварочных токов — до 300 А и для больших — до 1000 А. Последние снабжены водяным охлаждением. Механизм подачи электродной проволоки используется от полуавтоматов ПШ-5 и ПШ-54 или полуавтоматов ПШПА-6, ПШПА-7. Электродная проволока подается с постоянной скоростью независимо от напряжения дуги. Аппаратный шкаф содержит электрооборудование, необходимое для подвода сварочного тока и тока цепей управления к соответствующей аппаратуре установки. Осушитель газа РОК-1—1 (рис. 76), начиненный обезвоженным медным купоросом, применяют для удаления влаги из углекислого газа. Подогреватель 2 с электронагревательным элементом служит для подогрева углекислоты. Это необходимо для предупреждения замерзания редуктора, которое может произойти от пони-

жения температуры газа при редуцировании.

Различные полуавтоматы разработаны Институтом электросварки им. Е. О. Патона (А-537, А-547у, А-547р, А-607), заводом «Электрик» (ПДПГ-300), ЦНИИТмашем (ПГШ-2, ПГШ-3), НИАТом (ПШП-13), МВТУ им. Н. Э. Баумана (ПГД-2М).

Большое применение получил полуавтомат А-547у. Он предназначен для сварки листового материала толщиной до 3 мм во всех пространственных положениях электродной проволокой диаметром 0,8...1,2 мм постоянным током обратной полярности. Источниками питания дуги являются выпрямители типа ВС-300 или ВДГ-301. Сварочный ток устанавливается в пределах от 60 до 300 А. Механизм подачи электродной проволоки вмонтирован в чемоданчик и состоит из электродвигателя постоянного тока, роликов и катушки с проволокой. Реостат, включенный в обмотку двигателя, позволяет плавно изменять скорость вращения электродвигателя и тем самым изменять скорость подачи электродной проволоки в пределах 100...340 м/ч. Электродная проволока применяется марок Св-12ГС, Св-08ГС и Св-08Г2С.

Для автоматической сварки применяют сварочные аппараты АДПГ-500, АСУ-6у или используют сварочные тракторы АДС-1000-2, ТС-17М, переоборудованные для сварки в углекислом газе (например, АДС-1000-2У).

§ 26. Технология аргонодуговой сварки

При аргонодуговой сварке постоянным током неплавящимся электродом используют прямую полярность. Дуга горит устойчиво, обеспечивая хорошее формирование шва. При обратной полярности устойчивость процесса снижается, вольфрамовый электрод перегревается, что приводит к необходимости значительно уменьшить сварочный ток. Вследствие этого производительность сварки снижается. При автоматической и полуавтоматической сварке плавящимся электродом применяется постоянный ток обратной полярности, при котором обеспечивается высокая производительность. Кроме того, при сварке алюминия и их сплавов происходит мощная бомбардировка поверхности сварочной ванны положительными ионами, что наряду с процессом катодного распыления приводит к разрушению пленки оксидов алюминия и магния, облегчая процесс качественной сварки без применения флюсов.

При сварке переменным током неплавящимся электродом необходимо, чтобы источник тока имел более высокое напряжение холостого хода. Это обеспечивает устойчивое горение дуги и стабилизирует процесс сварки. Однако в связи с ограничением напряжения по условиям техники безопасности применяют ток допустимого напряжения, на который накладывают ток высокой частоты, включая в сварочную цепь осциллятор.

При сварке переменным током происходит частичное выпрямление тока вследствие различной электронной эмиссии вольфрамового электрода и свариваемого изделия. В периоды, когда вольфрамовый электрод является катодом, электронная эмиссия имеет большую интенсивность, проводимость дугового промежутка повышается, а напряжение на дуге понижается. Вследствие этого сварочный ток увеличивается. В периоды, когда катодом является изделие,

электронная эмиссия менее интенсивна, в результате чего сварочный ток уменьшается. Ввиду этого появляется некоторая составляющая постоянного тока, что приводит к уменьшению тепловой мощности дуги, значительно затрудняет разрушение оксидной пленки при сварке алюминиевых и магниевых сплавов и тем самым способствует образованию поверхностных и внутренних дефектов. Поэтому при сварке переменным током принимают меры по устранению или снижению составляющей постоянного тока. Для этой цели в сварочную цепь включают последовательно конденсаторную батарею емкостью 100 мкФ на каждый ампер сварочного тока или аккумуляторную батарею (положительный полюс батареи присоединяют к электроду). Применяется также последовательное включение в сварочную цепь активного сопротивления, но такая мера снижает устойчивость горения дуги и поэтому при такой схеме сварочной цепи приходится использовать источники питания дуги с повышением напряжением холостого хода до 90...120 В.

Возбуждение дуги *при ручной сварке неплавящимся электродом* производят на угольной или графитовой пластинке. Возникающей дугой некоторое время разогревают электрод, а затем быстро переносят дугу в начало разделки кромок. При сварке переменным током возбуждение дуги осуществляют с помощью осциллятора без короткого замыкания электрода на изделие. При полуавтоматической и автоматической сварке возбуждение дуги производят путем касания электродной проволокой вводной планки, которую устанавливают для предупреждения дефекта в начале свариваемого шва.

Аргонодуговой сваркой можно выполнять швы стыковых, тавровых и угловых соединений. При толщине листов до 2,5 мм рекомендуется сварку производить с отбортовкой кромок. При малой величине зазора (порядка 0,1...0,5 мм) можно сваривать тонколистовой материал толщиной 0,4...4 мм без отбортовки и

разделки кромок. При этом чем меньше толщина свариваемых встык листов, тем меньше допустимый зазор. Листы толщиной 4...12 мм сваривают встык с V-образной разделкой кромок при угле разделки 50...70°. Допустимый зазор в стыке составляет не более 1,0 мм. Расход аргона должен

обеспечить надежную защиту электрода и металла сварочной ванны от воздействия воздуха. Следует учитывать конфигурацию свариваемого изделия, чтобы при экономном расходовании газа создать хорошую защиту шва. Рекомендуются следующие соотношения:

Диаметр вольфрамового электрода, мм	1,5...2,0	2,5...3	3,5...4	4,5...6
Диаметр выходного отверстия сопла, мм	5...7	7...9	9...12	12...14
Расход аргона, л/мин	2...3	4...5	6...8	10...18

Перед началом сварки следует продуть шланг и горелку небольшой порцией аргона. Дугу возбуждают спустя 3...4 с после подачи аргона в горелку. Струя аргона должна защищать не только сварочную ванну, но и обратную сторону шва. Если доступ к обратной стороне шва затруднен, то применяют подкладки или флюсовую подушку.

Ручную сварку листов малой толщины (до ~6 мм) производят левым способом, при котором горелка перемещается по шву справа налево. Листы большой толщины (более 12 мм) сваривают правым способом, т. е. горелку ведут слева направо. Ось мундштука горелки при сварке тонких листов (толщиной до 4 мм) должна составлять с поверхностью свариваемых листов 75...80°. Присадочный пруток вводится в зону дуги под углом 10...15° к поверхности свариваемых листов, т. е. почти перпендикулярно оси мундштука горелки. При сварке листов большей толщины ось мундштука горелки располагают почти перпендикулярно поверхности

свариваемых листов. Длина дуги при арногодуговой сварке небольшая и составляет 1,5...2,5 мм при длине выступающего вольфрамового электрода 6...12 мм. Дугу следует гасить постепенно, увеличивая дуговой промежуток. Подачу аргона в зону дуги следует прекратить лишь спустя 10...15 с после гашения дуги, чтобы защитить металл шва от воздействия воздуха до его затвердевания.

Автоматическая и полуавтоматическая сварка плавящимся электродом производится при постоянной скорости подачи электродной проволоки независимо от напряжения дуги. Постоянство длины дуги поддерживается автоматическим саморегулированием. Электродная проволока применяется диаметром 0,5...2,0 мм. Листы толщиной до 5 мм соединяют стыковой сваркой без разделки кромок, а при толщине листов более 5 мм производят V-образную разделку шва с углом разделки 30...50°.

Вылет электрода устанавливают в зависимости от диаметра электродной проволоки:

Диаметр электродной проволоки, мм	0,5	0,8	1,0	1,6	2,0
Вылет электрода, мм	5...6	6...7	7...9	10...12	12...15
Минимальный ток, А	25...30	35...40	45...55	80...90	100...130

Сварочный ток влияет на характер переноса металла в шов: с его увеличением капельный перенос металла электрода сменяется струйным и глубина проплавления увеличивается. Значение тока, при котором металл электрода начинает стекать в сварочную ванну в виде тонкой струи, называют критическим. Прак-

тика показала, что при сварке алюминиевых сплавов критический ток составляет 70 А на 1 мм² сечения электродной проволоки, а при сварке сталей — от 60 до 120 А на 1 мм² сечения проволоки.

Подготовка поверхностей под сварку включает обезжиривание растворителями, бензином авиационным

или ацетоном техническим и затем удаление оксидной пленки механической зачисткой или химическим способом. Механическую зачистку производят металлическими щетками из проволоки диаметром до 5 мм. Химический способ включает травление в течение 0,5...1,0 мин (раствором, состоящим из 45...55 г едкого натра технического и 40...50 г фтористого натрия технического в 1 л воды), промывку проточной водой, нейтрализацию в 25...30%-ном водном растворе азотной кислоты в течение 1...2 мин, промывку в проточной воде, затем в горячей воде, сушку до полного испарения влаги. Обработку рекомендуется выполнять не более чем за 2...4 ч до сварки.

§ 27. Технология дуговой сварки в углекислом газе

Сварку в углекислом газе производят почти во всех пространственных положениях, что очень важно при производстве строительно-монтажных работ. Сварку осуществляют при питании дуги постоянным током обратной полярности. При сварке постоянным током прямой полярности снижается стабильность горения дуги, ухудшается формирование шва и увеличиваются потери электродного металла на угар и разбрызгивание. Однако коэффициент наплавки в 1,6...1,8 раза выше, чем при обратной полярности. Это качество используют при наплавочных работах. Сварку можно производить и на переменном токе при включении в сварочную цепь осциллятора. Источниками питания дуги постоянным током служат сварочные преобразователи с жесткой

характеристикой ПСГ-350, ПСГ-500 и др.

Листовой материал из углеродистых и низколегированных сталей успешно сваривают в углекислом газе; листы толщиной 0,6...1,0 мм сваривают с отбортовкой кромок. Допускается также сварка без отбортовки, но с зазором между кромками не более 0,3...0,5 мм. Листы толщиной 1,0...8,0 мм сваривают без разделки кромок, при этом зазор между свариваемыми кромками должен быть не более 1 мм. Листы толщиной 8...12 мм сваривают V-образным швом, а при больших толщинах — X-образным швом.

Перед сваркой кромки изделия должны быть тщательно очищены от грязи, краски, оксидной пленки и окалины. Наилучшие результаты дает сварка при больших плотностях тока, обеспечивающих более устойчивое горение дуги, высокую производительность и снижение потерь металла на разбрызгивание. Для этого при сварке в углекислом газе применяют электродную проволоку диаметром 0,5...2,0 мм и выполняют сварку при плотности тока не менее 80 А/мм².

Электродная проволока применяется из низкоуглеродистой стали с повышенным содержанием кремния и марганца марок Св-08ГС, Св-08Г2С. Поверхность электродной проволоки должна быть тщательно очищена от смазки, антикоррозионных покрытий, ржавчины, нарушающих устойчивость режима сварки.

Режим сварки выбирается в зависимости от толщины свариваемых кромок. Для тонколистовых изделий рекомендуются следующие режимы сварки (табл. 17).

Сварочный ток и скорость сварки в значительной степени зависят от

Таблица 17

Толщина металла, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Расход газа, л/мин
0,8...1,5	0,5...0,8	60...100	17...20	17...20	5...7
1,5...2,0	0,8...1,0	80...120	19...20	16...20	6...8
2,0...3,0	1,0...1,2	100...130	19...20	14...16	8...10
3,0...4,0	1,2...2,0	120...200	20...24	16...20	12...16

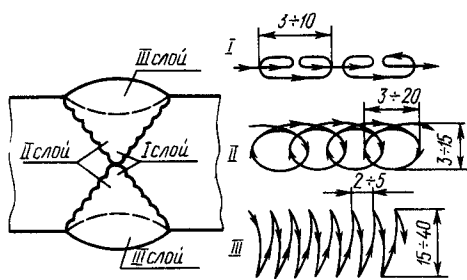


Рис. 77

размеров разделки свариваемого шва, т. е. от количества наплавляемого металла. Напряжение устанавливается таким, чтобы получить устойчивый процесс сварки при возможно короткой дуге (1,5...4,0 мм). При большей длине дуги процесс сварки неустойчивый, увеличивается разбрызгивание металла, возрастает возможность окисления и азотирования наплавляемого металла.

Скорость подачи электродной проволоки зависит от сварочного тока и напряжения. Практически она устанавливается так, чтобы процесс протекал устойчиво при вполне удовлетворительном формировании шва и незначительном разбрызгивании металла.

Расход углекислого газа устанавливается таким, чтобы обеспечить полную защиту металла шва от воздействия атмосферного воздуха. Расход газа при сварке тонкостенных изделий приведен выше. При сварке толстых изделий сварочными токами 500...1000 А расход газа достигает 15...20 л/мин.

Расстояние от торца мундштука горелки до сварного соединения при сварочных токах до 150 А должно быть 7...15 мм, а при токах до 500 А — 15...25 мм.

Полуавтоматическую сварку можно вести углом вперед, перемещая горелку справа налево, и углом назад, перемещая горелку слева направо. При сварке углом вперед глубина проплавления меньше, наплавляемый

валик получается широкий. Такой метод применяют при сварке тонкостенных изделий и при сварке сталей, склонных к образованию закалочных структур. При сварке углом назад глубина проплавления больше, а ширина валика несколько уменьшается. Угол наклона горелки относительно вертикальной оси — 5—15°.

Перед началом сварки необходимо отрегулировать расход углекислого газа и только спустя 30...40 с возбуждать дугу и приступить к сварке. Это необходимо, чтобы газ вытеснил воздух из шлангов и каналов сварочной горелки.

Вылет электродной проволоки устанавливается в пределах 8...15 мм при диаметре проволоки 0,5...1,2 мм и 15...35 мм — при диаметре проволоки 1,2...3 мм.

В процессе сварки электроду сообщается такое движение, чтобы получилось хорошее заполнение металлом разделки свариваемых кромок и удовлетворительное формирование наплавляемого валика. Эти движения аналогичны движениям электрода при ручной дуговой сварке качественными электродами.

На рис. 77 показаны движения электрода во время сварки в углекислом газе при выполнении многослойного шва. Рекомендуется для снижения опасности образования трещин первый слой сваривать при малом сварочном токе. Заканчивать шов следует заполнением кратера металлом. Затем прекращается подача электродной проволоки и выключается ток. Подача газа на заваренный кратер продолжается до полного затвердевания металла.

При сварке в углекислом газе следует помнить об отравляющем действии оксида углерода CO, выделяющегося при сварке. Поэтому при сварке в резервуарах и закрытых помещениях необходимо иметь хорошую вентиляцию.

§ 28. Способы резки плавящимся электродом

Дуговая резка является одним из видов разделительной резки. Она основана на выплавлении металла из зоны резания теплотой электрической дуги, возбуждаемой между электродом и разрезаемым металлом. Этот способ широко применяется при строительно-монтажных работах для грубой разделки металла. Резку производят стальными электродами с качественным покрытием, но более тугоплавким, чем для сварки. Такое покрытие обеспечивает при резке образование небольшого козырька, закрывающего зону дуги. Козырек предохраняет электрод от короткого замыкания на разрезаемый металл, а также способствует более сосредоточенному нагреву металла и позволяет производительнее вести резку. В качестве покрытия применяют смесь, содержащую 70% марганцевой руды и 30% жидкого стекла. Толщина покрытия составляет 1...1,5 мм. Успешно используются также электроды с покрытием ЦМ-7 и ЦМ-7с. Электроды диаметром 4...6 мм являются наиболее рекомендуемыми. Ток при резке выбирают в пределах 50...60 А на 1 мм диаметра электрода. Источником питания дуги могут служить сварочные генераторы или сварочные трансформаторы. Дуговую резку применяют для разрезания металлов толщиной не более 30 мм; производительность низкая — при толщине разрезаемого металла 15 мм скорость резки не превышает 120...150 мм/мин. Расход электрода составляет 1,0...1,5 кг на 1 м разрезаемого металла.

Кислородно-дуговая резка отличается от дуговой тем, что на нагретый до плавления участок поверхности металла подают струю чистого кислорода. Кислород прожигает металл участка резания и выдувает образовавшиеся оксиды и расплавленный металл из полости реза. При сгорании металла выделяется до-

полнительная теплота, которая ускоряет процесс плавки и резки металла. Такой способ применяют для выполнения коротких разрезов в различных строительных конструкциях.

ВНИИавтогенмаш разработал способ ручной кислородно-дуговой резки резаком типа РГД. При этом способе резчик в правой руке держит электрододержатель, а в левой — резак. Возбудив дугу и нагрев металл до плавления, резчик нажимает на рукоятку кислородного клапана и направляет струю кислорода на разогретый металл, затем дугу и резак перемещает вдоль линии реза. Электродами служат стальные стержни диаметром 4...5 мм с покрытием ЦМ-7, ОММ-5, ОЗС-3 и др. Ток в зависимости от диаметра электрода составляет 160...250 А. Этим способом можно разрезать металл толщиной до 50 мм. Металл толщиной 10...20 мм режут электродом диаметром 4 мм со скоростью 450...550 мм/мин. Расход кислорода составляет 100...160 л/мин. Углеродистые и низколегированные стали толщиной 50 мм режут электродом диаметром 5 мм со скоростью 200 мм/мин при расходе кислорода до 400 л/мин.

Важным преимуществом кислородно-дуговой резки является возможность сочетания резки со сварочными работами при монтаже различных строительных конструкций.

§ 29. Способы резки неплавящимся электродом

Применяются следующие виды дуговой резки неплавящимся электродом: разделительная резка неплавящимся электродом, воздушно-дуговая резка и плазменно-дуговая резка.

Разделительная резка производиться неплавящимся электродом: угольным, графитовым или вольфрамовым. Угольные и графитовые электроды диаметром 12...25 мм позволяют разрезать металл толщиной до 100 мм.

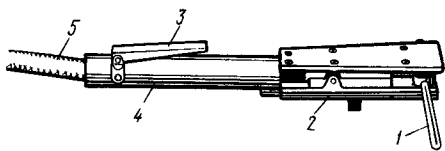


Рис. 78

Резку производят постоянным током прямой полярности. Ток в зависимости от диаметра электрода составляет 40...1000 А. Угольные электроды в процессе резки науглероживают кромки разреза и этим затрудняют последующую механическую обработку. Графитовые электроды дают более чистый разрез, дольше сохраняются и допускают большие плотности тока.

Воздушно-дуговая резка используется как для разделительной, так и для поверхностной резки. При этом способе между неплавящимся электродом и разрезаемым металлом возбуждают дугу. Теплотой дуги расплавляют металл участка резания, а струей сжатого воздуха непрерывно удаляют его из полости реза.

Для воздушно-дуговой резки низкоуглеродистой и нержавеющей стали толщиной до 20 мм ВНИИавтогенмаш сконструировал универсальный резак РВД-4А-66 (рис. 78: 1 — электрод, 2 — головка, 3 — нажимной рычаг, 4 — корпус, 5 — кабель-шланг). Он имеет сменные угольные электроды диаметром 6...12 мм. Ток достигает 400 А, а при кратковременном форсированном режиме — 500 А. Давление воздуха составляет 0,4...0,6 МПа. Расход воздуха при давлении 0,5 МПа не превышает 20 м³/ч. Масса резака — 1 кг. Процесс резки протекает

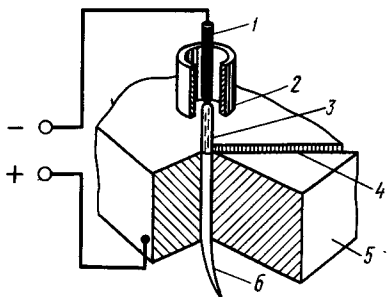


Рис. 79

устойчиво при питании резака постоянным током обратной полярности. При постоянном токе прямой полярности и при переменном токе процесс идет неустойчиво, производительность низкая при плохом качестве поверхности реза. Производительность резки зависит от тока. При токе 200 А за 1 ч работы можно удалить до 7 кг низкоуглеродистой стали, при токе 300 А — до 10 кг, а при 500 А — около 20 кг. Кроме того, с повышением тока снижается удельный расход электроэнергии с 3 кВт·ч/кг при токе 300 А до 2 кВт·ч/кг при 500 А.

Плазменно-дуговая резка является прогрессивным высокопроизводительным способом резки металлов. Она осуществляется глубоким проплавлением металла сжатой дугой в зоне резания и удалением частиц расплавленного металла газовым потоком. На рис. 79 представлена схема процесса. Дуга возбуждается и горит между вольфрамовым электродом 1 и разрезаемым металлом 5. Ток постоянный прямой полярности. Электрод находится внутри охлаждаемого медного мундштука 2. В канал мундштука под давлением подается плазмообразующий газ, струя которого сжимает столб дуги 3. Под действием дуги газ разогревается до высокой температуры, более 10 000°C, образуя плазму. Струя плазмы 6, имея высокую температуру и большую скорость истечения, проплавляет металл по линии реза 4 и выдувает расплавленный металл из полости реза.

Плазменно-дуговую резку можно применять для резки легированных и углеродистых сталей, чугуна, цветных металлов и их сплавов. Наиболее рационально и экономично применение ее при резке высоколегированных сталей, цветных металлов и их сплавов. Электроды изготавливают из лантанированного вольфрама ВЛ-15 или торированного вольфрама ВТ-15.

Плазмообразующими газами служат чистый аргон высшего сорта, технический азот 1-го сорта, смесь аргона с техническим водородом, воздух.

Источниками питания дуги являются однопостовые сварочные преоб-

разователи ПСО-500 и выпрямители ВКС-500. Для обеспечения повышенного напряжения холостого хода используют последовательное включение 2...3 преобразователей на одну дугу. Применяют также специальные источники питания плазменной дуги ИПГ-500-1 и выпрямители ВДГ-502.

Толщина разрезаемого металла в значительной степени зависит от напряжения. Например, при рабочем напряжении 75 В максимальная толщина резки алюминия достигает 25 мм, а при напряжении 250 В — 300 мм. Ток составляет 150...800 А.

Для ручной плазменно-дуговой резки используют плазморез РДМ-2-66-А, работающий на смеси аргона, водорода и азота и позволяющий резать металлы толщиной до 80 мм при максимальном токе до 450 А. ВНИИавтогенмаш разработал универсальную аппаратуру «Плазморез», состоящую из двух комплектов: КДП-1 и КДП-2. Комплект КДП-1 с резакон РДП-1 предназначен для резки алюминия толщиной до 80 мм, нержавеющей стали — до 60 мм и меди — до 40 мм. В качестве газа используются аргон, азот и водород. Комплект КДП-2 допускает резку алюминия толщиной до 50 мм, стали — до 40 мм и меди — до 20 мм. Резак этого комплекта РДП-2 имеет воздушное охлаждение и поэтому может быть использован при любых температурах окружающей среды. Источником питания дуги для всех комплектов служат 2...3 последовательно соединенных однополюсных источника питания постоянного тока.

Большое применение получили установки, в которых плазмообразующим газом служит воздух. К ним относится установка УПР-201, предназначенная для ручной плазменной резки металлов толщиной до 40 мм при температуре окружающей среды от +40 до -40°C. Установка

состоит из источника питания, аппаратуры управления процессом резки и плазмотрона. Максимальный рабочий ток — 250 А. Давление воздуха — 0,5...0,8 МПа. Расход воздуха — 70...100 м³/ч.

Для машинной резки применяют установки АПР-402, УВПР «Киев», ОПР-6 и др. Установка АПР-402 может производить резку черных и цветных металлов и их сплавов толщиной до 160 мм. Она предназначена для комплектования стационарных машин термической резки и обеспечивает раскрой листового материала, резку труб и круглого проката. Рабочий ток устанавливается в пределах 100...450 А. Напряжение холостого хода — 300 В, рабочее напряжение на дуге — 250 В. Плазмообразующий газ — воздух. Максимальное давление воздуха — 0,4 МПа. Замена дорогостоящих газовых смесей обычным воздухом экономически выгодна, значительно упрощает конструкцию установки и повышает производительность труда в 3...5 раз.

Для газозлектрической сварки и плазменной резки легированных сталей, цветных металлов и их сплавов в строительномонтажных условиях используют монтажный передвижной пост КПМ-1, смонтированный на одноосном автоприцепе ГАПЗ-755А. Оборудование состоит из сварочного выпрямителя ВКС-500-1, компрессора, двух балластных реостатов РБ-300-1, горелки ГДС-150, резака РДП-2, баллонов с аргонном и азотом. Вентиляция на режиме резки — принудительная. Все оборудование поста защищено от атмосферных осадков металлическим кожухом. Пост выполняет сварку металла толщиной до 2,5 мм и резку меди (толщиной до 20 мм), стали (до 40 мм) и алюминия (до 50 мм). Масса передвижного поста — 1500 кг.

ГАЗОВАЯ СВАРКА И КИСЛОРОДНАЯ РЕЗКА

ГЛАВА 10

ГАЗОВАЯ СВАРКА

§ 30. Оборудование газосварочных постов

Газовой сваркой называется сварка плавлением, при которой нагрев кромок соединяемых частей и присадочного материала производится теплотой сгорания горючих газов в кислороде.

Газовая сварка классифицируется по виду применяемого горючего газа (ацетилено-кислородная, водородно-кислородная, керосино-кислородная, бензино-кислородная, пропан-бутано-кислородная и др.). Большое применение получила газовая сварка ацетилено-кислородная и пропан-бутано-кислородная.

Для производства работ по газовой сварке сварочные посты должны иметь следующее оборудование и инвентарь: ацетиленовый генератор или баллон с горючим газом; кислородный баллон; редукторы (кислородный и для горючего газа); сварочную горелку с набором сменных наконечников; шланги для подачи горючего газа и кислорода в горелку; сварочный стол; приспособления, необходимые для сборки изделий под сварку; комплект инструментов; очки с защитными стеклами; спецодежду для сварщика.

Ацетиленовый генератор предназначен для получения ацетилена при взаимодействии карбида кальция с водой. Ацетиленовые генераторы (ГОСТ 5190—78) различаются по следующим признакам: по давлению получаемого ацетилена — генераторы низкого давления — до 0,02 МПа и среднего — свыше 0,02 до 0,15 МПа; по способу установки — передвижные

и стационарные; по производительности: передвижные — 1,25 м³/ч и 3,0 м³/ч, стационарные — 5, 10, 20, 40, 80, 160, 320 и 640 м³/ч. На заводах и строительных площадках чаще применяют генераторы производительностью 1,25 м³/ч; по способу взаимодействия карбида кальция с водой установлено три типа: КВ, ВК и К («карбид в воду», «вода на карбид» и контактный).

На рис. 80 представлены принципиальные схемы генераторов этих типов (1 — карбид кальция, 2 — отбор газа, 3 — газосборник, 4 — подача воды, 5 — реторта).

В генераторе типа КВ (рис. 80, а) предусматривается периодическая (порциями) подача в воду карбида кальция. При этом достигается наибольший выход ацетилена (до 95%). В генераторе типа ВК (рис. 80, б) осуществляется периодическая подача порций воды в загрузочное устройство, куда заранее насыпается карбид кальция. В генераторе типа К (рис. 80, в) предусматривается периодическое соприкосновение и взаимодействие карбида кальция с водой. Применяют два варианта: «вытеснение воды» (для разобширения воды и карбида кальция) и «погружение карбида» (для получения контакта воды с карбидом кальция). Получение ацетилена по контактному принципу осуществляется автоматически и широко используется в передвижных генераторах, но по сравнению с генераторами других типов генератор типа К дает наименьший выход ацетилена.

На рис. 81 представлены принципиальная схема (а) и внешний вид

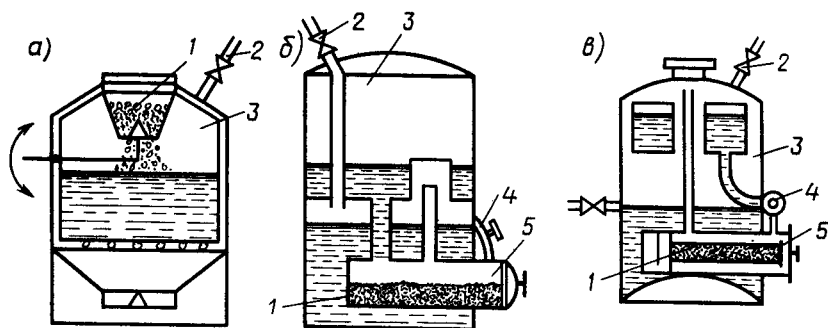


Рис. 80

(б) однопостового передвижного морозостойчивого ацетиленового генератора низкого давления АНВ-1,25. Генератор работает по принципу «вода на карбид» в сочетании с процессом «вытеснения воды». Производительность генератора составляет $1,25 \text{ м}^3/\text{ч}$, максимальное давление равно $0,01 \text{ МПа}$.

Корпус генератора 7 разделен горизонтальной перегородкой 8 на две части: водосборник 6 и газосборник 9. В нижнюю часть газосборника вварена реторта 14, в которую вставляют загрузочную корзину 13 с карбидом. Реторту плотно закрывают крышкой 12 на резиновой прокладке. Через верхнюю открытую часть корпуса генератор заполняют водой до отметки уровня. При открывании крана 10 вода из корпуса поступает в реторту и взаимодействует с карбидом. Выделяющийся ацетилен по трубке 11 собирается под перегородкой в газосборнике и затем через осушитель 5 и предохранительный (водяной) затвор 3 по шлангу 2 поступает в сварочную горелку или резак. При установившемся режиме давление ацетилена сохраняется почти постоянным. При уменьшении расхода газа давление в газосборнике повышается и часть воды вытесняется из реторты в конусообразный сосуд — вытеснитель 4. Уровень воды в корпусе опускается ниже уровня крана 10, поступление воды в реторту прекращается, газовыделение замедляется. По мере расходования ацетилена давление понижается, уровень воды в корпусе повышается до крана

10 и вода снова поступает в реторту. Таким образом автоматически регулируется процесс взаимодействия карбида с водой и выделение ацетилена в зависимости от его расхода.

В зимних условиях при температуре до -25°C генератор работает нормально не замерзая, так как его водоподающая система расположена внутри корпуса, где вода нагревается теплотой реакции взаимодействия воды с карбидом кальция. Водяной затвор устанавливают также внутри корпуса в циркуляционной трубе 1. Летом водяной затвор монтируют на корпусе генератора снаружи. Нижнюю половину осушителя на зиму заправляют как обычно коксом, а верхнюю — карбидом. Генераторы АНВ-1,25-68 и АНВ-1,25-73 отличаются конструкцией загрузочной корзины и расположением крана подачи воды в реторту.

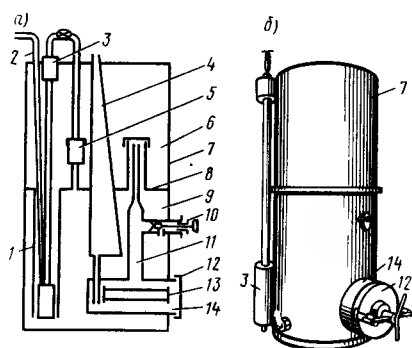


Рис. 81

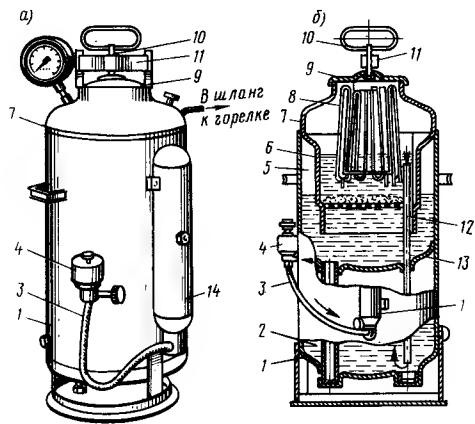


Рис. 82

ВНИИавтогенмаш разработал конструкции ацетиленовых генераторов среднего давления. На рис. 82 представлены внешний вид (а) и схема (б) передвижного однопостового генератора АСМ-1,25-3, работающего по схеме процесса «вытеснения воды». Производительность генератора — $1,25 \text{ м}^3/\text{ч}$, максимальное давление — $0,15 \text{ МПа}$. Корпус генератора 1 внутренней перегородкой 13 разделен на две полости: верхнюю — газообразователь 5 и нижнюю — промыватель 2. К газообразователю приварено верхнее днище 7 с горловиной для ввода в шахту 6 корзины 8 с карбидом. Корзина закрепляется крышкой 9, которая прижимается к горловине винтом 10 через рычаг 11. Генератор

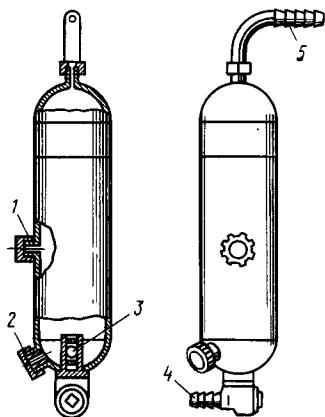


Рис. 83

заправляют водой через шахту. После опускания корзины с карбидом в шахту и плотного закрепления крышки карбид кальция начинает взаимодействовать с водой и выделяющийся при этом ацетилен поступает по трубе 12 в промыватель. Проходя через воду промывателя, ацетилен охлаждается и через клапан 4 по шлангу 3 поступает в водяной затвор 14 и затем в сварочную горелку или резак. Генератор имеет манометр для измерения давления и ручки для перемещения. Разовая загрузка карбида — 2,2 кг. Масса незаправленного генератора — 16 кг. Генератор может работать в зимних условиях на открытом воздухе при температуре до -25°C . Для этого он имеет утеплительный чехол. На основе генератора АСМ-1,25 разработан передвижной ацетиленовый генератор АСВ-1,25, который отличается конструкцией загрузочного устройства, позволившей увеличить разовую загрузку карбида до 3 кг.

Предохранительные затворы (водяные и сухие) служат для защиты ацетиленового генератора от взрывной волны газокислородного пламени (обратного удара).

Водяной затвор ЗСГ-1,25-3 среднего давления (рис. 83) устанавливают на генераторе АСМ-1,25-3. Затвор заправляют водой до контрольного крана 1. В нижней части затвора расположены сливная пробка 2, входной ниппель 4, клапан 3. При нормальной работе сварочного поста ацетилен из генератора поступает под клапан, поднимает его и, пройдя через воду, заполняет верхнюю полость затвора, а затем через ниппель 5 по шлангу поступает в сварочную горелку. При обратном ударе давлением воды клапан закрывается, не допуская проникновения пламени в генератор.

Для газов — заменителей ацетилена — применяют сухие предохранительные затворы, в которых пламя обратного удара гасится пористой металлокерамической массой.

Для питания ацетиленом нескольких сварочных постов применяют стационарный генератор ГРК-10-68 про-

изводительностью 10 м³ и рабочим давлением 0,07 МПа или генератор АСК-1-67. При этом каждый сварочный пост должен быть обязательно оборудован предохранительным затвором.

Ацетилен поставляется к сварочному посту в ацетиленовых баллонах вместимостью 40 л, в которых при максимальном давлении 1,9 МПа содержится ~5,5 м³ ацетилена. Для обеспечения безопасного хранения и транспортировки ацетилена баллон заполняют пористым активированным углем, а для увеличения количества ацетилена в баллоне активированную пористую массу пропитывают растворителем — ацетоном (один объем ацетона растворяет 23 объема ацетилена). Баллон окрашен в белый цвет и на нем сделана надпись «Ацетилен» красными буквами.

Кислород подается к посту сварки либо от кислородной рампы, либо от кислородного баллона вместимостью 40 л, в котором при максимальном давлении 15,15 МПа содержится 6 м³ кислорода. Баллон окрашен в голубой цвет и имеет надпись «Кислород» черными буквами.

Баллоны (рис. 84) для газов (горючего и кислорода) изготавливают по ГОСТ 949—73 из стальных бесшовных труб. Они представляют собой цилиндрический сосуд 3 с выпуклым дном 1 и узкой горловиной. Для придания баллону устойчивости в рабочем (вертикальном) положении на его нижнюю часть напрессован башмак 2 с квадратным основанием. Горловина баллона имеет конусное отверстие 4 с резьбой, куда ввертывается запорный вентиль 5 — устройство, позволяющее наполнять баллон газом и регулировать его расход.

Для различных газов принята определенная конструкция запорного вентиля. Различная резьба хвостовика исключает возможность установки на баллон не соответствующего ему вентиля. Вентиль кислородного баллона изготавливают из латуни, так как она обладает высокой коррозионной стойкостью в среде кислорода. Вентиль ацетиленового баллона изготавливают

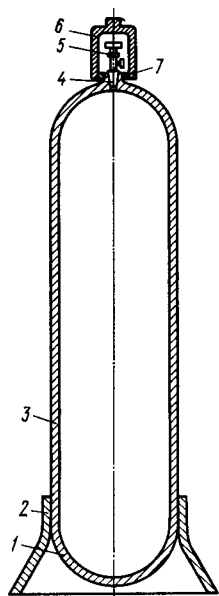


Рис. 84.

из стали, так как латунь, содержащая более 70% меди, при контакте с ацетиленом образует взрывоопасную ацетиленовую медь. На горловину баллона плотно насажено кольцо 7 с наружной резьбой для навинчивания предохранительного колпака 6. Вентиль кислородного баллона используется также для баллонов с азотом, аргоном и углекислым газом.

Редукторы служат для понижения давления газа, поступающего из баллона, до рабочего и для поддержания этого давления постоянным в процессе сварки. В практике применяют различные типы редукторов. На рис. 85 представлена схема однокамерного редуктора. Газ из баллона через штуцер проходит в камеру высокого давления 1 корпуса 10. В нерабочем положении редуктора (рис. 85, а) проход газа из камеры высокого давления 1 в камеру низкого давления 4 закрыт клапаном 2, прижатым к седлу 3. При ввертывании регулировочного винта 9 в крышку 7 корпуса (рис. 85, б) нажимная пружина 8 сжимается и перемещает вверх резиновую мембрану 6 вместе с передаточным штифтом 5. Штифт

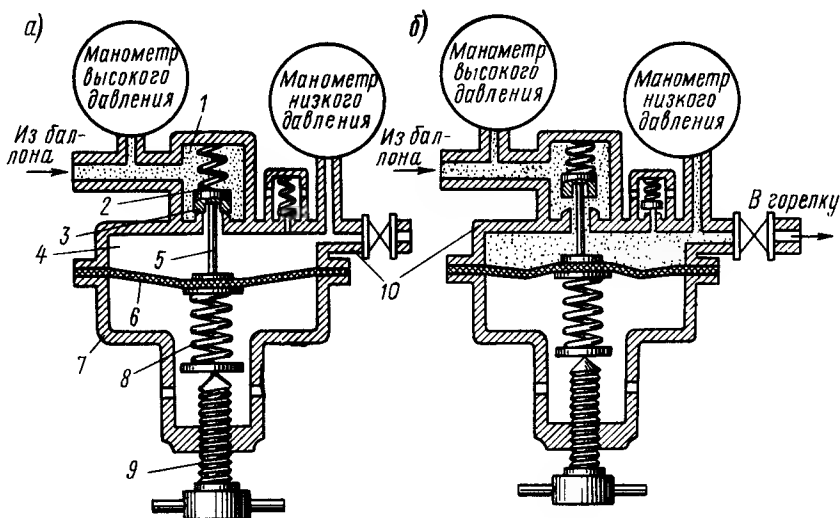


Рис. 85

открывает клапан 2, соединяя тем самым камеру высокого давления с камерой низкого давления. Газ поступает в камеру 4 до тех пор, пока давление его на мембрану не уравновесит силу нажимной пружины. В этом положении расход и поступление газа будут равны. Если расход газа уменьшается, то давление в камере 4 повышается. Давление газа отождет мембрану вниз и сожмет нажимную пружину 8. Клапан 2 закроет отверстие седла, и поступление газа в камеру 4 прекратится. При увеличении расхода газа давление в камере 4 понижается, мембрана отжимает клапан от седла и тем самым увеличивается поступление газа из баллона. Таким образом автоматически поддерживается постоянное давление газа, подаваемого в горелку.

Кислородный баллонный редуктор ДКП-1-65 предназначен для питания газом одного поста. Наибольшее допустимое давление газа на входе в редуктор — 20 МПа, наименьшее — 3 МПа. Рабочее давление — 0,1...1,5 МПа. При наибольшем рабочем давлении расход газа составляет 60 м³/ч, а при наименьшем — 7,5 м³/ч. Редуктор окрашен в голубой цвет и крепится к баллону с помощью накидной гайки. Более совершенны редукторы ДКП-2-78 с той же техни-

ческой характеристикой. Ацетиленовый баллонный редуктор ДАП-1-65 рассчитан на наибольшее давление на входе 3 МПа. Расход газа при наибольшем рабочем давлении 0,12 МПа составляет 5 м³/ч, а при наименьшем рабочем давлении 0,01 МПа — 3 м³/ч. Редуктор окрашен в белый цвет и крепится на баллоне с помощью хомутика.

Шланги (рукава) для кислорода и ацетилена стандартизованы. Предусмотрено три типа шлангов: для подачи ацетилена при рабочем давлении не более 0,6 МПа; для жидкого топлива (бензин, керосин) при рабочем давлении не более 0,6 МПа; для подачи кислорода при рабочем давлении не более 1,5 МПа. Рукава состоят из внутреннего резинового слоя (камеры), нитяной оплетки и наружного резинового слоя. Применяют шланги следующих размеров:

Внутренний диаметр, мм	6	9	12	16
Наружный диаметр, мм	12	18	22,5	26

Наружный слой ацетиленовых рукавов красного цвета, рукавов для жидкого топлива — желтого, кислородных — синего цвета. Длина шланга при работе от баллона должна

быть не менее 8 м, а при работе от генератора — не менее 10 м.

§ 31. Сварочные горелки

Сварочная горелка является основным инструментом газосварщика. Она предназначена для правильного смешивания горючего газа или паров горючей жидкости с кислородом и получения устойчивого сварочного пламени требуемой мощности.

Согласно ГОСТ 1077—79, горелки классифицируются: по способу подачи горючего в смесительную камеру — инжекторные и безинжекторные; по роду применяемого горючего; по мощности, определяемой расходом ацетилена: тип Г1 — микромощности (5...60 л/ч), тип Г2 — малой (25...700 л/ч), тип Г3 — средней (50...2500 л/ч) и тип Г4 большой мощности (2500...7000 л/ч).

Для производства ручной газопламенной обработки большое применение получили ацетилено-кислородные инжекторные горелки. Они работают на принципе подсоса горючего газа, давление которого может быть ниже 0,01 МПа, т. е. ниже минимальных давлений, установленных для подвижных ацетиленовых генераторов. Давление кислорода должно быть в пределах 0,15...0,5 МПа.

Безинжекторные горелки работают на горючем газе и кислороде, поступающих в смесительную камеру под одинаковым давлением в пределах 0,01...0,1 МПа, т. е. требуют питания горючим среднего давления. Для нормальной работы такой горелки в систему питания включают регулятор, обеспечивающий равенство рабочих давлений кислорода и горючего газа.

Ацетилено-кислородная инжекторная горелка представлена на рис. 86. По шлангу и трубке 6 к вентилю 5 и через него в инжектор 4 поступает кислород. Вытекая с большой скоростью из инжектора в смесительную камеру 3, струя кислорода создает разрежение, вызывающее подсос ацетилена. Ацетилен поступает по шлангу к соединительному ниппелю 7, а затем через корпус горелки и вентиль 8 в смесительную камеру, где образует с кислородом горючую смесь. Полученная смесь по трубке наконечника 2 поступает в мундштук 1 и, выходя в атмосферу, при сгорании образует сварочное пламя.

Большое применение получили сварочные инжекторные горелки средней мощности: «Звезда», ГС-3, «Москва» (рис. 87, б) и малой мощности: «Звездочка», ГС-2 и «Малютка» (рис. 87, а). Горелки средней мощности предназначены для ручной сварки, наплавки, пайки и подогрева деталей из черных и цветных металлов и их сплавов. В комплект горелки входят ствол и сменные наконечники, присоединяемые к стволу накидной гайкой. Наконечники от № 1 до № 7 позволяют устанавливать соответствующую мощность пламени для сварки металла толщиной 0,5...30 мм. Горелки малой мощности предназначены для сварки тонкостенных изделий (0,2...7 мм); они комплектуются наконечниками 0, № 1, № 2, № 3 и № 4. Горелки большой мощности ГС-4 комплектуются наконечниками № 8 и № 9 и служат для подогрева металла. Горелка ГС-4А-67П представляет собой горелку ГС-4 с сетчатым наконечником. Сетчатые наконечники позволяют использовать в качестве горючего пропан-бутановые смеси, природный газ и другие заменители

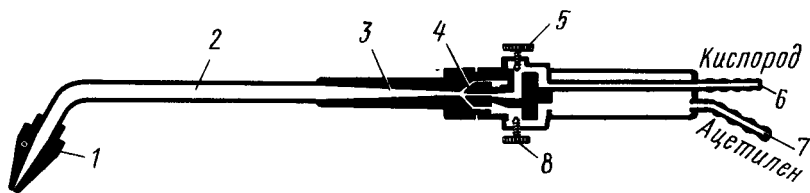


Рис. 86

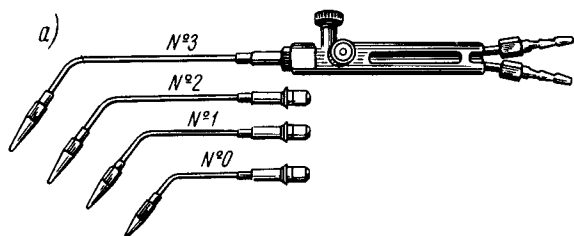


Рис. 87

ацетилена. Кроме того, для пропан-бутановых смесей применяют горелки ГЗУ-2-62-1, односопловые наконечники которых имеют подогреватели и подогревающие камеры, и горелки ГЗУ-2-62-II, имеющие сетчатые наконечники без подогревающих устройств. Наконечники этих горелок крепятся на

стволе горелок ГС-3, «Москва» или «Звезда». Для малой мощности пламени используют горелки ГЗМ-2-62М с односопловым наконечником меньших размеров и подогревающим устройством. Наконечники крепятся на стволе горелки ГС-2, «Малютка» или «Звездочка».

ГЛАВА 11 СВАРОЧНОЕ ПЛАМЯ

§ 32. Газы для сварки и резки металлов

Кислород при газовой сварке применяется для получения горючей смеси. Он способствует интенсивному горению горючих газов и получению высокотемпературного пламени. При горении газов в воздухе температура пламени значительно ниже, чем при горении в кислороде. При газовой сварке применяют газообразный технический кислород, поставляемый по ГОСТ 5583—78 трех сортов. Первый сорт имеет чистоту не ниже 99,7%, второй сорт — не ниже 99,5%, а третий сорт — не ниже 99,2% по объему. Технический кислород содержит примеси, состоящие из азота и аргона. Следует учесть важное значение чистоты кислорода при сварке и резке

металла. Снижение чистоты кислорода на 1% не только ухудшает качество сварного шва, но и требует увеличения расхода кислорода на 1,5%. Кислород при атмосферном давлении и нормальной температуре представляет собой газ без цвета и запаха с плотностью 1,43 кг/м³. Его получают из воздуха методом низкотемпературной ректификации, основанном на разности температур кипения основных составляющих воздуха — азота (—195,8° С) и кислорода (—182,96°С). Воздух переводят в жидкое состояние и затем постепенным повышением температуры испаряют азот (78%). Оставшийся кислород (21%) очищают до требуемой чистоты многократным повторением процесса ректификации.

Горючие газы и жидкости	Плотность, кг/м ³	Низшая удельная теплота сгорания топлива, МДж/м ³ (ккал/м ³)	Наибольшая температура пламени в смеси с кислородом, °С
Ацетилен	1,09	52,9 (12 600)	3150
Водород	0,084	10,1 (2400)	2100
Пиролизный газ	0,65...0,85	31,5...33,6 (7500...8000)	2300
Нефтяной газ	0,63...1,45	42,0...56,7 (10 000...13 500)	2300
Природный газ	0,7...0,9	31,5...33,6 (7500...8000)	2000
Городской газ	0,84...1,05	17,2...21,1 (4100...5000)	2000
Пропан-бутановая смесь	1,92	89 (21 200)	2100
Керосин	0,82...0,84 кг/дц ³	42...42,8 (10 000...10 200) МДж/кг (ккал/кг)	2500
Бензин	0,7...0,75 кг/дц ³	42,8...44,1 (10 200...10 500) МДж/кг (ккал/кг)	2600

Некоторые свойства горючих газов, применяемых при газовой сварке, даны в табл. 18.

Ацетилен в газосварочном производстве получил наибольшее распространение благодаря важным для сварки качествам (высокая температура пламени, большая теплота сгорания). Он представляет собой химическое соединение углерода с водородом (C₂H₂). Это бесцветный газ с характерным запахом, обусловленным наличием примесей (сероводорода, фтористого водорода и др.).

Ацетилен взрывоопасен при следующих условиях: нагревании до 480...500°C, давлении 0,14...0,16 МПа (1,4...1,6 кгс/см²), в смеси 2,3...80,7% ацетилена с воздухом, в смеси 2,8...93% ацетилена с кислородом.

Ацетилен получают при взаимодействии карбида кальция с водой по реакции $\text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{C}_2\text{H}_2 + \text{Ca(OH)}_2$.

Карбид кальция получают путем сплавления в электропечах кокса и обожженной извести $\text{CaO} + 3\text{C} = \text{CaC}_2 + \text{CO}$. Карбид кальция очень активно вступает в реакцию с водой, реагируя даже с парами воды, насыщенными воздухом. Поэтому его хранят и транспортируют в герметически закрытых стальных барабанах вместимостью 50...130 кг.

Из 1 кг карбида кальция в зависимости от сорта и грануляции получают 235...280 л ацетилена. Следует иметь в виду, что мелкий и

пылеобразный карбид кальция применять запрещается (взрывоопасно). Для взаимодействия 1 кг карбида кальция теоретически необходимо 0,56 л воды. Практически берут 7...20 л воды. Это обеспечивает хорошее охлаждение ацетилена и более безопасную работу газогенератора.

Водород — газ без цвета и запаха. В смеси с кислородом или воздухом он образует взрывчатую смесь (так называемый гремучий газ), поэтому требует строгого соблюдения правил техники безопасности. Водород хранится и транспортируется в стальных баллонах при максимальном давлении 15 МПа. Получают его электролизом воды или в водородных генераторах путем воздействия серной кислотой на железную стружку или цинк.

Пиролизный газ — смесь газообразных продуктов термического разложения нефти, нефтепродуктов или мазута. Содержит вредные сернистые соединения, вызывающие коррозию мундштуков горелок и резаков, поэтому требует тщательной очистки.

Нефтяной газ — смесь горючих газов, являющихся побочным продуктом нефтеперерабатывающих заводов. Его применяют для сварки, резки и пайки сталей толщиной до 3 мм и сварки цветных металлов.

Природный газ получают из газовых месторождений. Он состоит в основном из метана (93...99%).

Пропан-бутановую смесь получают при добыче и переработке естественных нефтяных газов и нефти. Хранят и транспортируют в сжиженном состоянии в баллонах вместимостью 40 и 55 л под давлением 1,6...1,7 МПа. Жидкой смесью заполняют только половину баллона, так как при нагреве значительное повышение давления может привести к взрыву.

Бензин и керосин используют при газопламенной обработке в виде паров. Для этой цели горелки и резак имеют испарители, которые нагревают вспомогательным пламенем или электрическим током.

§ 33. Сварочное пламя

Сварочное пламя образуется при сгорании выходящей из мундштука горелки смеси горючего газа (или паров горючей жидкости) с кислородом. Свойства сварочного пламени зависят от того, какое горючее подается в горелку и при каком соотношении кислорода и горючего создается газовая смесь. Изменяя количество подаваемого в горелку кислорода и горючего газа, можно получить нормальное, окислительное или науглероживающее сварочное пламя.

Нормальное (или восстановительное) пламя теоретически должно получаться при объемном отношении ко-

личества кислорода к ацетилену $\beta = 1$. Практически вследствие загрязненности кислорода нормальное пламя получается при несколько большем количестве кислорода, т. е. при $\beta = 1,1 \dots 1,3$. Нормальное пламя способствует раскислению металла сварочной ванны и получению качественного сварного шва. Поэтому большинство металлов и сплавов сваривают нормальным пламенем.

Нормальное ацетилено-кислородное пламя (рис. 88) состоит из трех ясно выраженных зон: ядра (I), восстановительной зоны (II) и факела (III). Форма ядра — конус с закругленной вершиной, имеющий светящуюся оболочку. Ядро состоит из продуктов распада ацетилена с выделяющимися раскаленными частицами углерода, которые сгорают в наружном слое оболочки. Длина ядра зависит от скорости истечения горючей смеси из мундштука горелки. Чем больше давление газовой смеси, тем больше скорость истечения, тем длиннее ядро пламени.

Восстановительная зона по своему темному цвету заметно отличается от ядра. Она состоит в основном из оксида углерода и водорода, получающихся в результате частичного сгорания ацетилена: $C_2H_2 + O_2 = 2CO + H_2$. В этой зоне создается наивысшая температура пламени ($3000^\circ C$) на расстоянии 3...5 мм от конца ядра. Этой частью пламени производят нагревание и расплавление свариваемого металла. Находящиеся в этой зоне оксид углерода и водород могут восстанавливать образующиеся оксиды металлов.

Факел располагается за восстановительной зоной и состоит из углекислого газа и паров воды, которые получаются в результате сгорания оксида углерода и водорода, поступающих из восстановительной зоны. Сгорание происходит за счет кислорода окружающего воздуха. Зона факела содержит также азот, попадающий из воздуха.

Окислительное пламя получается при избытке кислорода $\beta > 1,3$. Ядро такого пламени значительно короче по

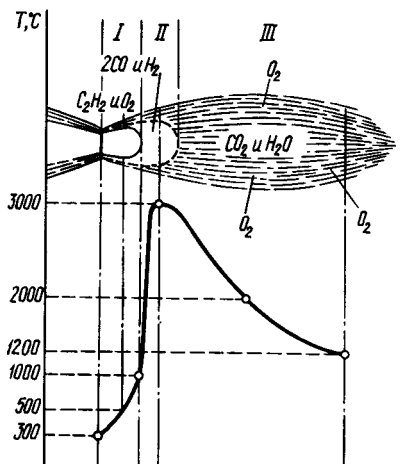


Рис. 98

длине, с недостаточно резким очертанием, более бледной окраски. Длина восстановительной зоны и факела пламени также меньше. Пламя имеет синевато-фиолетовую окраску. Температура пламени несколько выше нормальной. Однако таким пламенем сваривать стали нельзя, так как наличие в пламени избыточного кислорода приводит к окислению расплавленного металла шва, а сам шов получается хрупким и пористым.

Науглероживающее пламя получается при избытке ацетилена, $\beta < 1,1$. Ядро такого пламени теряет резкость своего очертания, и на его вершине появляется зеленоватый ореол, свидетельствующий о наличии избыточного ацетилена. Восстановительная зона значительно светлеет, а факел получает желтоватую окраску. Очертания зон теряют свою резкость. Избыточный ацетилен разлагается на углерод и водород. Углерод легко поглощается расплавленным металлом шва. Поэтому таким пламенем пользуются для науглероживания металла шва или восполнения выгорания углерода.

Регулирование сварочного пламени производится по его форме и окраске. Важное значение имеет правильный выбор давления кислорода, его соответствие паспорту горелки и номеру наконечника. При большом давлении кислорода смесь вытекает с большой скоростью, пламя отрывается от мундштука, происходит выдувание расплавленного металла из сва-

рочной ванны; при недостаточном давлении кислорода — скорость истечения горючей смеси падает, пламя укорачивается и возникает опасность обратных ударов. Нормальное пламя можно получить из окислительного, постепенно увеличивая поступление ацетилена до образования яркого и четкого ядра пламени. Можно отрегулировать нормальное пламя и из науглероживающего, убавляя подачу ацетилена до исчезновения зеленоватого ореола у вершины ядра пламени. Характер пламени выбирают в зависимости от свариваемого металла. Например, при сварке чугуна и наплавке твердых сплавов применяют науглероживающее пламя, а при сварке латуни — окислительное.

Важным показателем сварочного пламени является его тепловая мощность. Мощность пламени принято определять расходом ацетилена в л/ч, а удельной мощностью пламени называют часовой расход ацетилена в литрах, приходящийся на 1 мм толщины свариваемого металла. Потребная мощность пламени зависит от толщины свариваемого металла и его теплопроводности. Например, при сварке углеродистых и низколегированных сталей, чугуна, сплавов меди и алюминия удельная мощность пламени составляет 80...150 л/(ч·мм), а при сварке меди, обладающей высокой теплопроводностью, удельную мощность выбирают в пределах 150...220 л/(ч·мм).

ГЛАВА 12

ТЕХНОЛОГИЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ

§ 34. Техника выполнения газовой сварки

Качество сварного соединения в значительной степени зависит от правильного выбора режима и техники выполнения сварки.

При ручной сварке пламя горелки направляют на свариваемые кромки так, чтобы они находились в восстановительной зоне на расстоянии

2...6 мм от конца ядра. Конец присадочной проволоки также держат в восстановительной зоне или в сварочной ванне.

Положение горелки — угол наклона ее мундштука к поверхности свариваемого металла — зависит от толщины соединяемых кромок изделия и теплопроводности металла. Чем толще металл и чем больше его теплопроводность, тем угол наклона мунд-

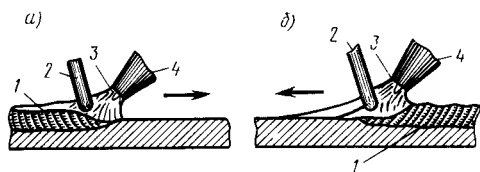
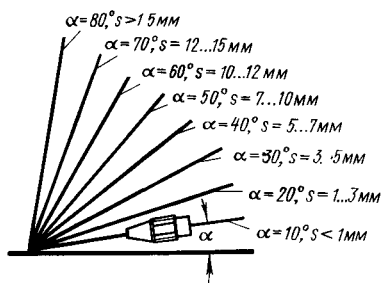


Рис. 90

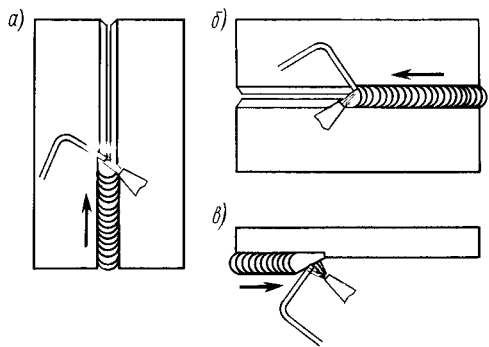


Рис. 91

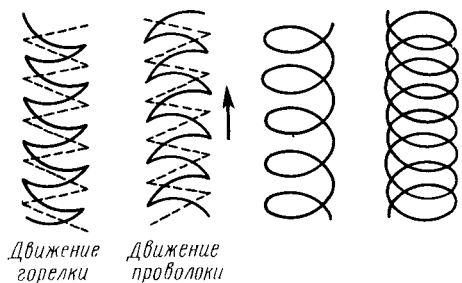


Рис. 92

штука горелки должен быть больше. Это способствует более концентрированному нагреву металла вследствие подведения большего количества теплоты. Углы наклона мунштука горелки в зависимости от толщины металла при сварке низкоуглеродистой ста-

ли показаны на рис. 89. В начале сварки для быстрого и лучшего прогрева металла устанавливают наибольший угол наклона, затем в процессе сварки этот угол уменьшают до нормы, а в конце сварки постепенно уменьшают, чтобы лучше заполнить кратер и предупредить пережог металла.

Различают два основных способа газовой сварки: правый и левый. При правом способе (рис. 90, а) процесс сварки ведется слева направо. Горелка 4 перемещается впереди присадочного прутка 2, а пламя 3 направлено на формирующийся шов 1. Этим обеспечивается хорошая защита сварочной ванны от воздействия атмосферного воздуха и замедленное охлаждение сварного шва. Такой способ позволяет получать швы высокого качества. При левом способе (рис. 90, б) процесс сварки производится справа налево. Горелка перемещается за присадочным прутком, а пламя направляется на несваренные кромки и подогревает их, подготавливая к сварке.

Правый способ применяют при сварке металла толщиной более 5 мм. Пламя горелки при этом способе ограничено с двух сторон кромками изделия, а позади наплавленным валиком, что значительно уменьшает рассеивание теплоты и повышает степень ее использования. Однако при левом способе внешний вид шва лучше, так как сварщик отчетливо видит шов и может получить равномерную высоту и ширину его. Это особенно важно при сварке тонких листов. Поэтому тонкий металл сваривают левым способом. Кроме того, при левом способе пламя свободно растекается по поверхности металла, что снижает опасность его пережога.

Выбор способа сварки зависит также от пространственного положения шва. При сварке швов в нижнем положении выбор способа сварки, как указано выше, зависит от толщины металла. Сварку вертикальных швов снизу вверх следует производить левым способом (рис. 91, а). Сварку горизонтальных швов выполняют левым способом, направляя пламя го-

релки на заваренный шов (рис. 91, б). Для предупреждения вытекания расплавленного металла сварочную ванну формируют с небольшим перекосом. Потолочные швы легче сваривать правым способом, так как в этом случае газовый поток пламени направлен непосредственно на шов и тем самым препятствует вытеканию металла из сварочной ванны (рис. 91, в).

В процессе сварки мундштук горелки и присадочный пруток совершают одновременно два движения: одно — вдоль оси свариваемого шва и второе — колебательные движения поперек оси шва (рис. 92). При этом конец присадочного прутка движется в направлении, обратном движению мундштука.

§ 35. Технология газовой сварки

Для получения сварного шва с высокими механическими свойствами необходимо хорошо подготовить свариваемые кромки, правильно подобрать мощность горелки, отрегулировать сварочное пламя, выбрать присадочный материал, установить положение горелки и направление перемещения ее по свариваемому шву.

Подготовка кромок заключается в очистке их от масла, окислы и других загрязнений, разделке под сварку и прихвате короткими швами.

Свариваемые кромки зачищают на ширину 20...30 мм с каждой сторо-

ны шва. Для этой цели можно использовать пламя сварочной горелки. При нагреве окислы отстает от металла, а краска и масло выгорают. Затем поверхность свариваемых деталей зачищают стальной щеткой до металлического блеска. При необходимости (например, при сварке алюминия) свариваемые кромки травят в кислоте и затем промывают и сушат.

Разделка кромок под сварку зависит от типа сварного соединения, который, в свою очередь, зависит от взаимного расположения свариваемых деталей.

Стыковые соединения являются для газовой сварки наиболее распространенным типом соединений. Металлы толщиной до 2 мм сваривают встык с отбортовкой кромок (рис. 93, а) без присадочного материала или встык без разделки кромок и без зазора (рис. 93, б), но с присадочным материалом. Металл толщиной 2...5 мм сваривают встык без разделки кромок, но с зазором между ними (рис. 93, в). При сварке металла толщиной более 5 мм применяют V- или X-образную разделку кромок (рис. 93, г). Угол скоса выбирают в пределах 70...90°; при этих углах получается хороший провар вершины шва.

Угловые соединения (рис. 93, д) также часто применяют при сварке металлов малой толщины. Такие соединения сваривают без присадочного металла. Шов получается за счет

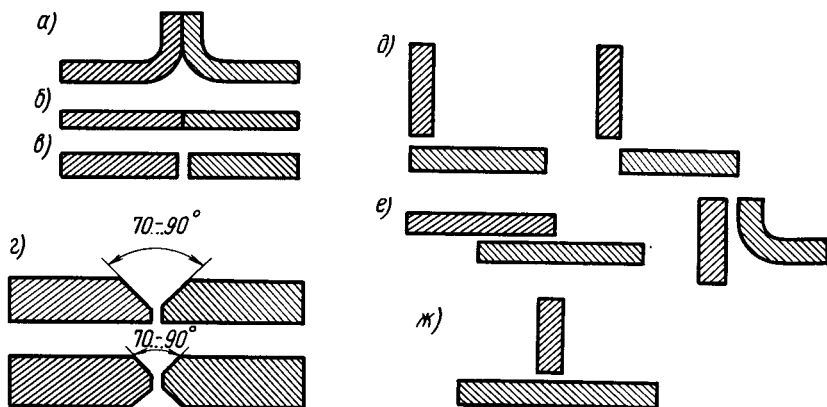


Рис. 93

расплавления кромок свариваемых деталей.

Нахлесточные (рис. 93, е) и тавровые (рис. 93, ж) соединения допустимы только при сварке металла толщиной менее 3 мм, так как при больших толщинах металла неравномерный местный нагрев вызывает большие внутренние напряжения и деформации и даже трещины в шве и основном металле.

Скос кромок производят ручным или пневматическим зубилом, а также на кромкострогальных или фрезерных станках. Экономичным способом подготовки кромок является ручная или механизированная кислородная резка; образующиеся при этом шлаки и окалины удаляют зубилом и металлической щеткой.

Чтобы не допустить изменения положения свариваемых деталей и зазора между кромками в течение всего процесса сварки, изделие закрепляют в приспособлениях или с помощью прихваток. Длина прихваток, их число и расстояние между ними зависят от толщины металла, длины и конфигурации свариваемого шва. При сварке тонкого металла и коротких швах длина прихваток составляет 5...7 мм, а расстояние между ними — 70...100 мм. При сварке толстого металла и значительной длине прихватки делают длиной 20...30 мм, а расстояние между ними — 300...500 мм.

Основные параметры режима сварки выбирают в зависимости от свариваемого металла, его толщины и типа изделия. Определяют потребную мощность пламени, вид пламени, марку и диаметр присадочной проволоки, технику сварки. Швы накладывают одно- и многослойные. При толщине металла до 6...8 мм применяют однослойные швы, до 10 мм — швы выполняют в два слоя, а при толщине металла более 10 мм швы сваривают в 3 слоя и более. Толщина слоя при многослойной сварке зависит от размеров шва, толщины металла и составляет 3...7 мм. Перед наложением очередного слоя поверхность предыдущего слоя должна быть

хорошо очищена металлической щеткой. Сварку производят короткими участками. При этом стыки валиков в слоях не должны совпадать. При многослойной сварке зона нагрева меньше, чем при однослойной. В процессе сварки при наплавке очередного слоя происходит отжиг нижележащих слоев. Кроме того, каждый слой можно подвергнуть проковке. Все эти условия позволяют получить сварной шов высокого качества, что очень важно при сварке ответственных конструкций. Однако следует учесть, что при этом производительность сварки низкая при большом расходе горючего газа.

Низкоуглеродистые стали сваривают газовой сваркой без особых затруднений. Сварка выполняется нормальным пламенем. Присадочным материалом служит сварочная проволока по ГОСТ 2246—70. Ответственные конструкции из низкоуглеродистой стали сваривают, применяя низколегированную проволоку. Наилучшие результаты дают кремнемарганцовистая и марганцовистая проволоки марок Св-08ГА, Св-10Г2, Св-08ГС, Св-08Г2С. Они позволяют получать сварные швы с высокими механическими свойствами. Удельная мощность пламени — 100...150 л/(ч·мм).

Среднеуглеродистые стали свариваются удовлетворительно, однако при сварке возможно образование в сварном шве и зоне термического влияния закалочных структур и трещин. Сварку выполняют слегка науглероживающим пламенем, так как даже при небольшом избытке в пламени кислорода происходит существенное выгорание углерода. Удельная мощность пламени должна быть в пределах 80...100 л/(ч·мм). Рекомендуется левый способ сварки, чтобы снизить перегрев металла. При толщине металла более 3 мм следует проводить предварительный общий подогрев детали до 250...300°С или местный нагрев до 650...700°С. Присадочным материалом служат марки сварочной проволоки, указанные для малоуглеродистой стали, и проволока марки Св-12ГС.

При определении мощности пламени следует иметь в виду, что при сварке правым способом удельная мощность должна быть повышена на 20...25%. Увеличение мощности пламени повышает производительность сварки. Однако при этом возрастает опасность пережога металла.

Диаметр присадочной проволоки d (мм) при сварке металла толщиной до 15 мм левым способом определяют по формуле $d = S/2 + 1$, где S — толщина свариваемой стали, мм. При

правом способе диаметр проволоки берут равным половине толщины свариваемого металла. При сварке металла толщиной более 15 мм применяют проволоку диаметром 6...8 мм.

После сварки можно рекомендовать проковку металла шва в горячем состоянии и затем нормализацию с температуры 800...900°С. При этом металл приобретает достаточную пластичность и мелкозернистую структуру.

ГЛАВА 13

КИСЛОРОДНАЯ РЕЗКА

§ 36. Сущность процесса кислородной резки

Кислородная резка основана на свойстве металлов и их сплавов сгорать в струе технически чистого кислорода. Резке поддаются металлы, удовлетворяющие следующим основным требованиям:

1. Температура плавления металла должна быть выше температуры воспламенения его в кислороде. Металл, не отвечающий этому требованию, плавится, а не сгорает. Например, низкоуглеродистая сталь имеет температуру плавления около 1500°С, а воспламеняется в кислороде при температуре 1300...1350°С. Увеличение содержания углерода в стали сопровождается понижением температуры плавления и повышением температуры воспламенения в кислороде. Поэтому резка стали с увеличенным содержанием углерода и примесей усложняется.

2. Температура плавления оксидов должна быть ниже температуры плавления самого металла, чтобы образующиеся оксиды легко выдувались и не препятствовали дальнейшему окислению и процессу резки. Например, при резке хромистых сталей образуются оксиды хрома с температурой плавления 2000°С, а при резке алюминия — оксиды с температурой плавления около 2050°С. Эти оксиды покрывают поверхность металла и прекращают дальнейший процесс резки.

3. Образующиеся при резке шлаки должны быть достаточно жидкотекучи и легко выдвигаться из разреза. Тугоплавкие и вязкие шлаки будут препятствовать процессу резки.

4. Теплопроводность металла должна быть наименьшей, так как при высокой теплопроводности теплота, сообщаемая металлу, интенсивно отводится от участка резки и подогреть металл до температуры воспламенения будет трудно.

5. Количество теплоты, выделяющейся при сгорании металла, должно быть возможно большим; эта теплота способствует нагреванию прилегающих участков металла и тем самым обеспечивает непрерывность процесса резки. Например, при резке низкоуглеродистой стали 65...70% общего количества теплоты выделяется от сгорания металла в струе кислорода и только 30...35% — составляет теплота от подогревающего пламени резака.

Различают два основных вида кислородной резки: разделительную и поверхностную.

Разделительную резку (рис. 94) применяют для вырезки различного вида заготовок, раскроя листового металла, разделки кромок под сварку и других работ, связанных с разрезкой металла на части. Сущность процесса заключается в том, что металл вдоль линии разреза нагревают до температуры воспламенения его в кислороде, он сгорает в струе кисло-

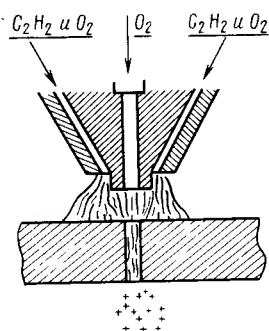


Рис. 94

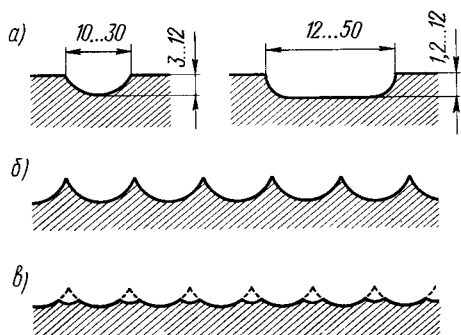
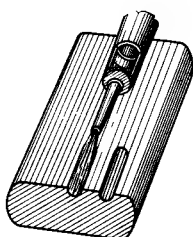


Рис. 95

рода, а образующиеся оксиды выдуваются этой струей из места разреза.

Поверхностную резку (рис. 95, а, б, в) применяют для снятия поверхностного слоя металла, разделки канавок, удаления поверхностных дефектов и других работ.

Применяют два вида поверхностной резки — строжку и обточку. При строжке резак совершает возвратно-поступательное движение как строгальный резец. При обточке резак работает как токарный резец.

§ 37. Оборудование для кислородной резки

Резаки для кислородной резки служат для правильного смешения горючих газов или паров жидкости с кислородом, образования подогревающего пламени и подачи в зону резки струи чистого кислорода. Резаки классифицируют по назначению (универсальные и специальные), по принципу смешения газов (инжекторные и безыжекторные), по виду резки (для разделительной и поверхностной резки), по применению (для ручной и машинной резки). Наибольшее применение получили универсальные инжекторные ручные резаки для разделительной резки (рис. 96). Они отличаются от сварочных горелок наличием отдельной трубки для подачи кислорода и особым устройством головки, состоящим из двух сменных мундштуков (наружного — для подогревающего пламени и внутреннего — для струи чистого кислорода). Ацетилен подается по шлангу к ниппелю 1, а кислород — к ниппелю 2. От ниппеля 2 кислород идет по двум направлениям. Одна часть кислорода, как в обычных сварочных горелках, поступает в инжектор и затем в смешительную камеру. Здесь образуется горючая смесь кислорода с ацетиленом, засасываемым через ниппель 1. Горючая смесь проходит по трубке, выходит через кольцевой зазор между внутренним и наружным мундштуком 5 и создает подогревательное пламя. Другая часть кислорода через трубки 3 и 4 поступает в центральное отверстие внутреннего мундштука 5 и образует струю режущего кислорода, сжигающую металл и выдувающую образующиеся оксиды из зоны реза.

Большое применение получил ручной универсальный резак «Факел» (улучшенная конструкция резака «Пламя»). Он имеет пять внутренних и два наружных мундштука, позволяющих резать металл толщиной до 300 мм со скоростью (в зависимости от металла и его толщины) 80...560 мм/мин. Для работы на газах—за-

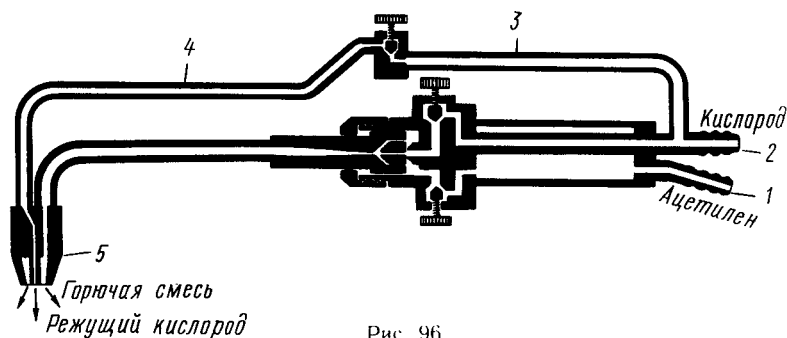


Рис. 96

менителях ацетилена используются резаки РЗР. Они отличаются большими размерами сечений инжекторов и мундштуков. Промышленность серийно выпускает вставные сменные резаки, предназначенные для присоединения к стволам универсальных сварочных горелок (например, резак РГС-70 к горелкам «Звезда» и ГС-3, резак РГМ-70 — к горелкам «Звездочка» и ГС-2). Это создает большие удобства в строительно-монтажных условиях при частых переходах от сварки к резке и наоборот.

Для машинной резки применяют стационарные шарнирные машины АСШ-2 (рис. 97) и АСШ-70, отличающийся от АСШ-2 более совершенным приводом и наличием пантографа, позволяющего производить вырезку одновременно трех деталей. Толщина разрезаемого металла 5...100 мм. Переносные машины представляют собой самоходные тележки, оснащенные резаком и перемещающиеся по разрезаемому металлу. Приводом служит электродвигатель, пружинный механизм или газовая турбина. Например, машина «Радуга» предназначена для резки стальных листов толщиной 5...160 мм со скоростью 90...1600 мм/мин. Масса машины 16 кг. Переносные машины «Спутник-3» предназначены для резки стальных труб диаметром 194...1620 мм при толщине стенки 5...75 мм со скоростью 100...900 мм/мин. Масса машины — 18 кг.

§ 38. Технология кислородной резки

Поверхность разрезаемого металла должна быть хорошо очищена от грязи, краски, окалины и ржавчины.

Для удаления окалины, краски и масла следует медленно провести пламенем горелки или резака по поверхности металла вдоль намеченной линии разреза. При этом краска и масло выгорают, а окалина отстает от металла. Затем поверхность металла окончательно зачищают металлической щеткой.

Процесс резки начинают с нагревания металла. Подогревающее пламя резака направляют на край разрезаемого металла и нагревают до температуры воспламенения его в кислороде (практически почти до температуры плавления). Затем пускают струю режущего кислорода и перемещают резак вдоль линии разреза. Кислород сжигает верхние нагретые слои металла. Теплота, выделяющаяся при сгорании, нагревает ниже-

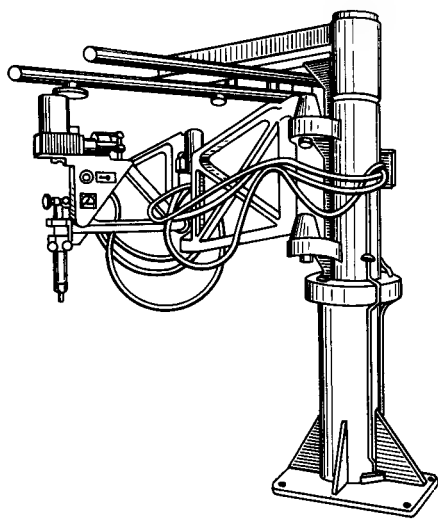


Рис. 97

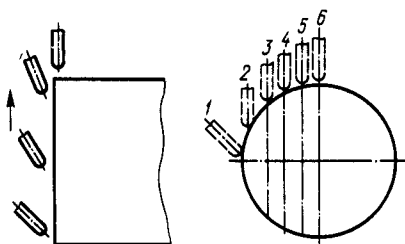


Рис. 98

лежащие слои металла до температуры воспламенения и поддерживает непрерывность процесса резки.

При резке листового материала толщиной 20...30 мм мундштук резака устанавливают вначале под углом 0...5° к поверхности, а затем — под углом 20...30° в сторону, обратную движению резака. Это ускоряет процесс разогрева металла и повышает производительность.

Резку металла большой толщины выполняют следующим образом. Мундштук резака вначале устанавливают перпендикулярно поверхности разрезаемого металла, так чтобы струя подогревающего пламени, а затем и режущего кислорода располагалась вдоль вертикальной грани разрезаемого металла. После прогрева металла до температуры воспламенения пускают струю режущего кислорода. Перемещение резака вдоль линии резания начинают после

того, как в начале этой линии металл будет прорезан на всю его толщину. Чтобы не допустить отставания резки в нижних слоях металла, в конце процесса следует постепенно замедлить скорость перемещения резака и увеличить его наклон до 10...15° в сторону, обратную движению. Рекомендуется начинать процесс резки с нижней кромки, как показано на рис. 98. Предварительный подогрев до 300...400°С позволяет производить резку с повышенной скоростью. Скорость перемещения резака должна соответствовать скорости горения металла. Если скорость перемещения резака установлена правильно, то поток искр и шлака вылетает из разреза прямо вниз, а кромки получаются чистыми, без натеков и подплавлений. При большой скорости перемещения резака поток искр отстает от него, металл в нижней кромке не успевает сгорать и поэтому сквозное прорезание прекращается. При малой скорости сноп искр опережает резак, кромки разреза оплавляются и покрываются натеками.

Давление режущего кислорода устанавливают в зависимости от толщины разрезаемого металла и чистоты кислорода. Чем выше чистота кислорода, тем меньше давление и расход кислорода. Зависимость давления кислорода от толщины металла при ручной резке следующая:

Толщина металла, мм	5...20	20...40	40...60	60...100	100...200
Давление кислорода, МПа	0,3...0,4	0,4...0,5	0,5...0,6	0,7...0,9	1,0...1,1

Ширина и чистота разреза зависят от способа резки и толщины разрезаемого металла. Машинная резка дает более чистые кромки и

меньшую ширину разреза, чем ручная резка. Чем больше толщина металла, тем больше ширина разреза. Это видно из следующих данных:

Толщина металла, мм	5...50	50...100	100...200	200...300
Ширина разреза, мм				
при ручной резке	3...5	5...6	6...8	8...10
при машинной резке	2,5...4,0	4,0...5,0	5,0...6,5	6,5...8,0

ГОСТ 14792—80 «Детали и заготовки, вырезаемые кислородной и плазменно-дуговой резкой. Точность, качество поверхности реза» предусматривает предельные отклонения

номинальных размеров деталей (заготовок) в зависимости от способа резки, размеров деталей (заготовок) и толщины металла; установлено три класса точности:

Клас-сы точ-ности	Способ резки	Толщина листа, мм	Предельные отклонения при номинальных размерах деталей (заготовок), мм			
			до 500	500...1500	1500...2500	2500...5000
1	Кислородная и плазменно-дуговая	5...30 31...60	±1,0	±1,5	±2,0	±2,5
	Кислородная	61...100	±1,5	±2,0	±2,5	±3,0
2	Кислородная и плазменно-дуговая	5...30 31...60	±2,0 ±2,5	±2,5 ±3,0	±3,0 ±3,5	±3,5 ±4,0
	Кислородная	61...100	±3,0	±3,5	±4,0	±4,5
3	Кислородная и плазменно-дуговая	5...30 31...60	±3,5 ±4,0	±3,5 ±4,0	±4,0 ±4,5	±4,5 ±5,0
	Кислородная	61...100	±4,5	±4,5	±5,0	±5,5

Предусмотрены также показатели качества поверхности реза:

Толщина листа, мм	Способ резки	Неперпендикулярность, мм			R _z , мм		
		Классы			Классы		
		1	2	3	1	2	3
5...12	Кислородная	0,2	0,5	1,0	0,050	0,080	0,160
	Плазменно-дуговая	0,4	1,0	2,3	0,050	0,100	0,200
13...30	Кислородная	0,3	0,7	1,5	0,060	0,160	0,250
	Плазменно-дуговая	0,5	1,2	3,0	0,060	0,200	0,320
31...60	Кислородная	0,4	1,0	2,0	0,070	0,250	0,500
	Плазменно-дуговая	0,7	1,6	4,0	0,070	0,320	0,630
61...100	Кислородная	0,5	1,5	2,5	0,085	0,500	1,000
	Плазменно-дуговая	—	—	—	—	—	—

Эти показатели относятся к машинной кислородной резке низкоуглеродистой стали кислородом 1-го и 2-го сортов.

Процесс резки вызывает изменение структуры, химического состава и механических свойств металла. При резке низкоуглеродистой стали тепловое влияние процесса на ее структуру незначительно. Наряду с участками перлита появляется неравно-весная составляющая сорбита, что даже несколько улучшает механические свойства металла. При резке стали, имеющей повышенное содержание углерода, а также легирующие примеси, кроме сорбита, образуются троостит и даже мартенсит. При этом сильно повышаются твердость и хрупкость стали и ухудшается обрабатываемость кромок разреза. Возможно образова-

ние холодных трещин. Изменение химического состава стали проявляется в образовании обезуглероженного слоя металла непосредственно на поверхности резания в результате выгорания углерода под воздействием струи режущего кислорода. Несколько глубже находится участок с большим содержанием углерода, чем у исходного металла. Затем по мере удаления от разреза содержание углерода уменьшается до исходного. Так же происходит выгорание легирующих элементов стали.

Механические свойства низкоуглеродистой стали при резке почти не изменяются. Стали с повышенным содержанием углерода, марганца, хрома и молибдена закаляются, становятся более твердыми и дают трещины в зоне резания.

Нержавеющие хромистые и хромоникелевые стали, чугуны, цветные металлы и их сплавы не поддаются обычной газокислородной резке, так как не удовлетворяют указанным выше условиям.

Для этих металлов применяют кислородно-флюсовую резку, сущность которой заключается в следующем. В зону резания с помощью специальной аппаратуры непрерывно подается порошкообразный флюс, при сгорании которого выделяется дополнительная теплота и повышается температура места разреза. Кроме того, продукты сгорания флюса реагируют с тугоплавкими оксидами и дают жидкотекучие шлаки, легко вытекающие из места разреза.

В качестве флюса используется мелкогранулированный железный порошок марки ПЖ5М (ГОСТ 9849—74). При резке хромистых и хромоникелевых сталей во флюс добавляют 25...50% окалины. При резке чугуна добавляют ~30...35% доменного феррофосфора. При резке меди и ее сплавов применяют флюс, состоящий из смеси железного порошка с алюминиевым порошком (15...20%) и феррофосфором (10...15%).

Резку производят установкой УРХС-5, разработанной ВНИИавтоматизации и состоящей из флюсопитателя и резака. Установка используется для ручной и машинной кислородно-флюсовой резки высоколегированных хромистых и хромоникелевых сталей толщиной 10...200 мм при скорости резания 230...

760 мм/мин. На 1 м разреза расходуется кислорода 0,20...2,75 м³, ацетилена — 0,017...0,130 м³ и флюса — 0,20...1,3 кг.

При кислородно-флюсовой резке некоторая часть теплоты подогревающего пламени уходит на нагревание флюса. Поэтому мощность пламени берется на 15...25% выше, чем при обычной газовой резке. Пламя должно быть нормальным или с некоторым избытком ацетилена. Расстояние от торца мундштука резака до поверхности разрезаемого металла устанавливается 15...25 мм. При малом расстоянии частицы флюса отражаются от поверхности металла и, попадая в сопло резака, вызывают хлопки и обратные удары. Кроме того, наблюдается перегрев мундштука, приводящий к нарушению процесса резки. Угол наклона мундштука должен составлять 0...10° в сторону, обратную направлению резки. Хорошие результаты дает предварительный подогрев. Хромистые и хромоникелевые стали требуют подогрева до 300...400°С, а сплавы меди — до 200...350°С.

Скорость резки зависит от свойств металла и его толщины. Чугун толщиной 50 мм режут со скоростью 70...100 мм/мин. При этом на 1 м разреза расходуется 2...4 м³ кислорода, 0,16...0,25 м³ ацетилена и 3,5...6 кг флюса. Примерно такие же данные получают при резке сплавов меди. При резке хромистых и хромоникелевых сталей расход всех материалов снижается почти в 3 раза.

КОНТАКТНАЯ СВАРКА

ГЛАВА 14

ТЕХНОЛОГИЯ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

§ 39. Сущность контактной сварки

Контактной сваркой называется сварка с применением давления, при которой нагрев производится теплотой, выделяющейся при прохождении электрического тока через находящиеся в контакте соединяемые части.

Количество теплоты (Дж), выделяющейся при прохождении электрического тока через находящиеся в контакте детали, может быть определено по формуле $Q = I^2 R t$, где I — ток, А; R — сопротивление участка цепи в месте контакта деталей, Ом; t — продолжительность действия тока, с.

Из формулы видно, что количество теплоты зависит от тока в сварочной цепи. Поэтому для быстрого нагрева свариваемых кромок применяют большие токи, достигающие нескольких десятков тысяч ампер. Так как электрическое сопротивление прохождению тока в месте контакта свариваемых деталей велико, то на этом очень малом участке выделяется большое количество теплоты, которое вызывает быстрый нагрев металла. С повышением температуры металла в зоне контакта его сопротивление возрастает, следовательно, еще более возрастает количество выделяющейся теплоты и ускоряется процесс нагрева металла. Таким образом, применение больших сварочных токов позволяет осуществить быстрый нагрев металла и выполнить сварку за десятые и даже сотые доли секунды.

Режим контактной сварки характеризуется совместным действием основных параметров — тока и времени его протекания, силы сжатия и времени ее действия.

По току и времени его протекания различают два режима сварки: жесткий и мягкий. *Жесткий* режим характеризуется большим током и малым временем процесса сварки. Такой режим применяется для сварки сталей, чувствительных к нагреву и склонных к образованию закалочных структур, а также легкоплавких цветных металлов и их сплавов. *Мягкий* режим характеризуется большей продолжительностью процесса и постепенным нагревом свариваемого металла. Таким режимом пользуются при сварке углеродистых сталей, обладающих низкой чувствительностью к тепловому воздействию.

Машины для контактной сварки состоят из двух основных частей: электрической и механической. *Электрическая* часть машин состоит из трансформатора, переключателя ступеней (регулятора тока), регулятора времени, прерывателя тока и токоподводящих проводов и устройств. Трансформатор применяется однофазный с секционированной первичной обмоткой, позволяющей с помощью переключателя ступеней изменять напряжение во вторичной обмотке. При первичном напряжении 220 или 380 В, а вторичном — 1...20 В сварочный ток достигает нескольких десятков килоампер. Вторичная обмотка трансформатора у машин малой мощности состоит из отдельных гибких медных полос, охлаждаемых воздухом, у машин средней и большой мощности — из пустотелых медных витков, охлаждаемых проточной водой. *Механическая* часть состоит из станины и механизмов, обеспечивающих точную фиксацию и необ-

ходимое давление для сжатия свариваемых деталей.

Совмещенные графики изменения сварочного тока и силы сжатия во времени называют циклограммой. Цикл сварки имеет четыре периода: сжатие, сварку, проковку и паузу. Для управления циклом работы машины применяют устройство, называемое регулятором времени. В практике применяют четырехпозиционный регулятор времени РВЭ-7 завода «Электрик», имеющий четыре последовательные выдержки времени для каждого периода цикла сварки. Регулятор имеет металлический корпус с выведенными наружу регулировочными ручками, с помощью которых длительность периодов цикла плавно регулируется: период сварки от 0,03 до 6,75 с, остальные — от 0,03 до 1,35 с.

Включение и выключение машин контактной сварки производится от первичной обмотки сварочного трансформатора. В процессе сварки необходимо включать и выключать большой ток десятки раз в секунду. Для этой цели машины небольшой мощности и неавтоматического действия имеют механические или электромагнитные контакторы. При больших мощностях такие контакторы имеют большие габариты и низкую производительность и не обеспечивают точного дозирования и стабильности подачи энергии, поэтому на машинах средней и большой мощности устанавливают ignitronные или тиристорные прерыватели.

Контактная сварка — высокопроизводительный процесс, легко поддающийся механизации и автоматизации, что способствует ее широкому

применению в строительстве и промышленности, например для сварки стыковых и крестообразных соединений арматуры в железобетонных конструкциях, для сварки элементов конструкций из листовой стали или алюминия, для соединения элементов стальных конструкций (типа балок, ферм, мачт), для сварки труб, а также для стыковых соединений медных и алюминиевых проводов при электро-монтажных работах.

Контактная сварка по форме сварного соединения подразделяется на стыковую, точечную, шовную и шовно-стыковую.

§ 40. Стыковая контактная сварка

Стыковая контактная сварка — сварка, при которой соединение свариваемых частей происходит по всей поверхности стыкуемых торцов.

Принципиальная схема стыковой сварки представлена на рис. 99: 1 — электроды-зажимы, 2 — свариваемые детали, 3 — трансформатор.

Сварка может быть выполнена двумя способами: сопротивлением и оплавлением (непрерывным и прерывистым).

При сварке сопротивлением чисто обработанные торцы двух деталей приводят в плотное соприкосновение и включают сварочный ток. После нагрева стыкуемых поверхностей до пластического состояния производят осадку (сжатие) и одновременно выключают ток. Таким способом можно сваривать детали круглого или прямоугольного сечения из низкоуглеродистых сталей с площадью сечения до 1000 мм^2 , из легированных сталей — до 20 мм^2 . Хорошо свариваются сваркой сопротивлением цветные металлы и их сплавы; можно сваривать и разнородные металлы (сталь с медью, латунь с медью, различные сорта сталей). Сварка сопротивлением требует строгого контроля температуры нагрева и высокой чистоты свариваемых поверхностей — попадание оксидов между плоскостями контакта снижает качество сварки. Поэтому сварка сопро-

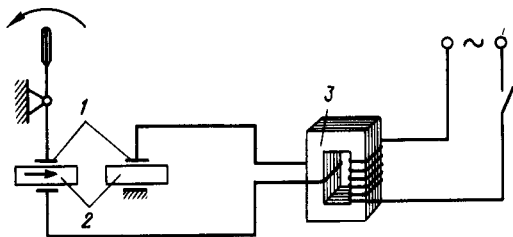


Рис. 99

тивлением не получила большого распространения.

Сварка непрерывным оплавлением выполняется в такой последовательности. Детали, закрепленные в зажимах машины, плавным перемещением подвижного зажима приводят в соприкосновение при включенном сварочном токе. При этом происходит оплавление свариваемых торцов. Затем производят осадку на установленную величину и выключение тока. Такой способ применяют при сварке тонкостенных труб, листов, рельсов и др. Допускается сварка разнородных металлов. Достоинством сварки непрерывным оплавлением является высокая производительность, недостатком — значительные потери металла на угар и разбрызгивание.

Сварка прерывистым оплавлением производится чередованием плотного и неплотного контакта свариваемых поверхностей деталей при включенном токе. Небольшие возвратнопоступательные движения подвижного зажима периодически замыкают и размыкают сварочную цепь в месте контакта деталей до тех пор, пока торцы их не нагреются до температуры 800...900°С. Затем производят оплавление и осадку. Прерывистым оплавлением сваривают изделия из низкоуглеродистой стали в тех случаях, когда мощность машины недостаточна для производства сварки непрерывным оплавлением. Этот способ также связан с дополнительным расходом металла, поэтому для подогрева иногда включают ток при замкнутой сварочной цепи, как при сварке сопротивлением, а затем разводят детали и переходят к оплавлению и осадке.

При сварке сопротивлением важное значение имеет плотность прилегания свариваемых поверхностей. Недостатки подгонки (перекос, зазор) приводят к неравномерному прогреву деталей, образованию оксидов и тем самым к снижению качества сварного соединения. Допускаемые отклонения размеров стыкуемых поверхностей: круглых — не более 2%, прямоугольных — не более 1,5%.

Важное значение имеет длина выступающего из зажима машины конца свариваемой детали (так называемая установочная длина). При малой длине деталь прогревается недостаточно, так как основная доля теплоты уходит через зажим машины. При большой установочной длине деталь разогревается на большей длине и осадка, а отсюда и сварка получаются некачественными. При сварке сплошных сечений установочная длина должна составлять 0,4...0,7 диаметра заготовки (или стороны квадрата). При сварке листов установочная длина зависит от толщины листа и протяженности стыка. Например, для листа толщиной 2...8 мм при длине стыка до 200 мм установочная длина составляет 10...12 мм, при длине стыка 400...800 мм — 13...16 мм, при длине стыка 800...1000 мм — 14...17 мм.

Припуск на сварку сопротивлением берется небольшой, так как он расходуется только на осадку, например, для деталей диаметром (или со стороной квадрата) до 50 мм и до 100 мм припуск на осадку составляет соответственно 0,3...0,5 и 0,15...0,2 диаметра (стороны квадрата).

Давление осадки при сварке низкоуглеродистых сталей определяют по удельному давлению и площади контакта. Удельное давление осадки автоматических машин составляет 40...60 МПа, неавтоматических — 30...40 МПа.

Электрические параметры сварки определяют в зависимости от материала свариваемых деталей и площади стыкуемых поверхностей. Напряжение холостого хода составляет 1,5...3 В. При этом большие значения принимают для больших площадей сечений (500...1000 мм²). Плотность тока для сварки низкоуглеродистых сталей принимается в пределах 20...60 А/мм², для цветных металлов и сплавов — 60...150 А/мм². Удельная мощность при сварке сталей сплошного сечения составляет 0,12...0,15 кВ·А/мм², при сварке меди — 0,5...1,6 кВ·А/мм², алюминия — 0,2...0,6 кВ·А/мм².

При сварке оплавлением свариваемые торцы не обрабатывают так тщательно, как при сварке сопротивлением, так как часть металла зоны сварки оплавляется. Допускаются большие отклонения размеров сечений: круглых — до 15%, квадратных и прямоугольных — до 12%.

Припуск при сварке оплавлением расходуется на оплавление и осадку. Для углеродистых и низколегированных сталей значение припуска принимают в зависимости от площади сечения свариваемого металла. При сечениях до 200 мм² припуск составляет ~ 60%, а при сечениях более 200 мм² ~ 50% от диаметра (или стороны квадрата). При определении припуска необходимо учитывать также зазор между свариваемыми поверхностями. Зазор при сечениях 100...1000 мм² составляет 1,5...4 мм, а свыше 1000 мм² — до 8 мм.

При сварке оплавлением плотность тока, расход электроэнергии и необходимая мощность меньше, чем при сварке сопротивлением. Для сечений 100...200 мм² плотность сварочного тока составляет 10...25 А/мм². Удельная мощность при сварке углеродистой стали составляет 0,04...0,07 кВт·А/мм².

Стыковая сварка широко применяется для соединения арматурных стержней железобетонных изделий, при этом полностью используются отходы, так как из коротких отрезков можно сваривать стержни любой необходимой длины. Для получения качественной сварки выбирают наилучший режим и производят контрольную проверку сваренных стыков на разрыв и угол загиба. Свариваемые торцы деталей подвергают

тщательной механической или химической очистке. Должны быть хорошо очищены также поверхности соприкосновения деталей с зажимами стыковой машины для получения хорошего электрического контакта. Для этого используют установки с вращающимися стальными щетками, шабрами или абразивными кругами. Торцы должны иметь прямой срез. Это обеспечивает хорошую центровку, уменьшает затраты времени и металла на оплавление.

§ 41. Точечная контактная сварка

Точечная контактная сварка — это сварка, при которой соединение элементов происходит на участках, ограниченных площадью торцов электродов, подводящих ток и передающих силу сжатия.

Свариваемые листы 2 (рис. 100) или стержни накладывают друг на друга и зажимают металлическими электродами 3, к которым от трансформатора 4 подводится сварочный ток. Нагрев металла происходит при замыкании сварочной цепи. Наибольшее количество теплоты выделяется на участке наибольшего сопротивления цепи, т. е. в зоне соединения свариваемых листов (стержней). Здесь металл расплавляется. После выключения тока и осадки сварочная ванна кристаллизуется и образуется сварная точка 1. Подготовка поверхностей к сварке заключается в тщательной механической (абразивными материалами, пескоструйным аппаратом, металлической щеткой) или химической (травлением) очистке их с обеих сторон от грязи, масла и оксидной пленки. Хорошая очистка и плотное прилегание поверхностей обеспечивают высокое качество сварной точки.

Цикл сварки состоит из следующих периодов: сжатия свариваемых заготовок, действия сварочного тока и снятия силы сжатия. Применяют различные способы совмещения (рис. 101) периодов действия сварочного тока 1 и силы F сжатия. Способ (а) соответствует сварке при постоян-

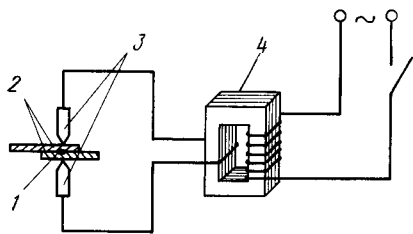


Рис. 100

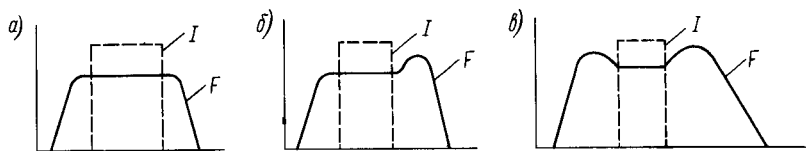


Рис. 101

ном давлении и применяется при сварке низкоуглеродистых и нержавеющей сталей толщиной до 3 мм. Сварка по способу (б) отличается тем, что после выключения сварочного тока силу сжатия увеличивают, что обеспечивает хорошее формирование металла и позволяет получить сварную точку повышенной прочности; применяется для сварки изделий из низкоуглеродистой стали повышенной толщины. Сварка по способу (в) состоит из обжатия листов большей силой перед сваркой, сварки при меньшем давлении и последующего обжатия повышенной силой при выключенном токе. Применяется при сварке листов больших толщин, когда необходимо обеспечить формирование и отвердевание сварной точки.

Процесс сварки может быть выполнен при жестком (плотность тока $160...360 \text{ А/мм}^2$, длительность цикла $0,2...1,5 \text{ с}$) и мягком (плотность тока $70...160 \text{ А/мм}^2$, длительность цикла $2...3 \text{ с}$) режимах. Диаметр сварной точки зависит от толщины свариваемых листов и составляет $1...1,5$ диаметра электрода, а также от сварочного тока и продолжительности цикла сварки. Диаметр электрода принимается на $3...4 \text{ мм}$ больше суммарной толщины свариваемых листов.

Рекомендуются следующие режимы точечной сварки для различных материалов. Для низкоуглеродистых сталей толщиной до 4 мм применяют жесткий режим при плотности сварочного тока $300...360 \text{ А/мм}^2$ и продолжительности цикла сварки $0,8...1,1 \text{ с}$. Удельное давление составляет $15,0...70,0 \text{ МПа}$. При толщине металла более 4 мм рекомендуются мягкие режимы, осуществляемые при плотности тока до 160 А/мм^2 и продолжительности цикла до $2,5...3 \text{ с}$.

Удельное давление достигает $100...120 \text{ МПа}$. При сварке алюминия и его сплавов применяют жесткие режимы при высоких плотностях тока, достигающих 1600 А/мм^2 , удельных давлениях до 150 МПа и продолжительности цикла $0,1...0,25 \text{ с}$. При этом свариваемые поверхности должны быть особенно тщательно очищены от оксидной пленки.

Точечная сварка получила большое применение при изготовлении арматуры железобетонных изделий, плоских и угловых сеток, а также различных пространственных каркасов. Сваривают пересекающиеся стержни или стержни с плоскими элементами: листом, полосой, швеллером и др. При сварке стержней в начальный момент контактируют небольшие поверхности и для быстрого разогрева достаточно небольшой мощности. Пластическая деформация контактируемых поверхностей приводит к увеличению площади соприкосновения. Вместе с этим происходит выдавливание из зоны контакта шлака и других неметаллических включений. Такое течение процесса позволяет при сварке стержней диаметром до 60 мм использовать машины небольшой мощности.

§ 42. Шовная контактная сварка

Шовная контактная сварка — это сварка, при которой соединение элементов выполняется внахлестку в виде непрерывного или прерывистого шва вращающимися дисковыми электродами, к которым подведен ток и приложена сила сжатия.

На рис. 102 представлена принципиальная схема шовной сварки: 1 — ролики (дисковые электроды), 2 — свариваемые листы, 3 — трансформатор.

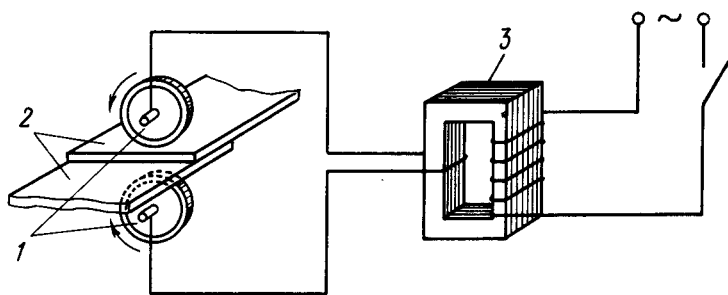


Рис. 102

Применяют три способа шовной сварки: непрерывную, прерывистую с непрерывным вращением роликов и прерывистую с периодическим вращением роликов.

Непрерывную шовную сварку выполняют сплошным швом при постоянном давлении роликов на свариваемые листы заготовки и при постоянно включенном сварочном токе в течение всего процесса сварки. При этом способе имеют большое значение тщательная зачистка свариваемых поверхностей, равномерная толщина листов и однородность химического состава металла. Даже при небольших нарушениях подготовки свариваемых кромок сварной шов получается низкого качества с прожогами и непроварами. По указанным причинам этот метод сварки не получил широкого применения.

Прерывистую сварку с непрерывным вращением роликов также выполняют при постоянной силе сжатия, но сварочная цепь периодически замыкается и размыкается. При этом способе шов формируется в виде сварных точек, перекрывающих друг друга. Шов получается более высокого качества.

Прерывистую сварку с периодическим вращением роликов выполня-

ют при постоянной силе сжатия, но сварочная цепь замыкается в момент остановки роликов (шаговая сварка). Такой способ дает более качественный шов, так как обеспечивает хорошее формирование сварочной точки. Однако машины для такого способа отличаются сложностью конструкции и малой производительностью.

Большое применение получила прерывистая шовная сварка с непрерывным вращением роликов при постоянной силе сжатия в течение процесса сварки. Этим способом сваривают швы различных резервуаров и емкостей, а также конструкций из листового металла. Наиболее часто применяют сварные соединения с отбортовкой и внахлестку (рис. 103). При соединении с отбортовкой листов толщиной до 1 мм ширина отбортовки берется до 12 мм, а при толщине листов до 2 мм — 20 мм. При нахлесточном соединении величину нахлеста берут 10...20 мм.

Низкоуглеродистая и тонкая нержавеющая стали (типа X18H9) хорошо свариваются шовной сваркой. Сварку листов из низкоуглеродистой стали при суммарной толщине до 2 мм (1+1) производят роликами с шириной контактной поверхности 6 мм. Сила сжатия достигает 4 кН. Продолжительность импульсов тока в сварочной цепи составляет 0,04...0,06 с, а перерывов между ними — 0,02...0,04 с. Сварочный ток — 8...16 кА. Скорость сварки достигает ~2 м/мин. При суммарной толщине листов до 4 мм (2+2) ширина контактной поверхности роликов состав-

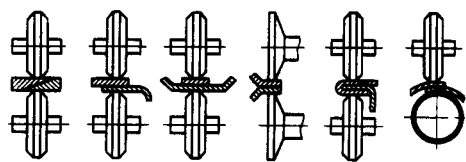


Рис. 103

ляет 8,5...10 мм, сила сжатия — 6,5...8,4 кН, продолжительность импульсов тока — 0,08...0,12 с, а перерывов — 0,06...0,10 с. Сварочный ток достигает 20 кА, скорость сварки — 1,4...1,6 м/мин. При сварке нержавеющей сталей сварочный ток берется меньше указанных норм на 35...40%. Сварка листов из алюминия и его сплавов выполняется при сварочных токах 22...40 кА. Скорость сварки не превышает 1 м/мин. Сила сжатия — 2,5...5,4 кН, продолжительность импульсов сварочного тока составляет только 15...30% времени одного цикла.

Разновидностью шовной сварки является **шовно-стыковая сварка труб** с продольным сварным швом (рис. 104). Из стальной ленты необходимой ширины формирующими роликами подготавливают трубную заготовку 3 с верхним расположением стыка 4 кромок заготовки. Заготовка подается стыком под сварочные ролики 2, к которым подводится сварочный ток от трансформатора 1; сила сжатия передается заготовке через нажимные

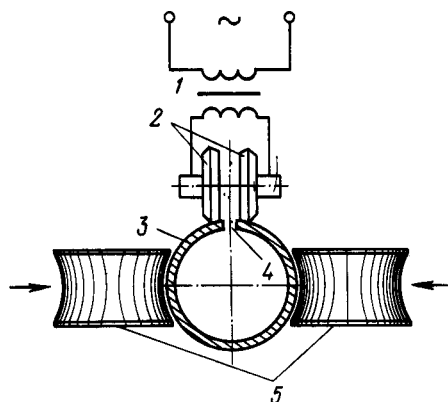


Рис. 104

ролики 5. После заварки шва труба поступает на калибрующие валки, где срезается грат сварного шва и правятся размер и форма сечения, затем разрезается на трубы заданной длины.

Этим способом изготовляют трубы диаметром 14...400 мм при толщине стенок 0,5...12,5 мм. Скорость сварки достигает 10...15 м/мин.

ГЛАВА 15

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

§ 43. Машины для стыковой контактной сварки

Для стыковой сварки применяют контактные машины универсальные — общего назначения и специальные — для сварки арматуры железобетона, трубопроводов и др.

В строительной промышленности для стыковой сварки применяются универсальные машины типа АСИФ, МСР, МСМ и МСГ. Машина АСИФ-75 показана на рис. 105. Чугунные стойки машины 1 и 2 соединены между собой стяжками 3. На стойке 2 укреплена неподвижная плита 4; она изолирована от стойки гетинаксовой прокладкой. Подвижная плита 6 укреплена на цилиндрических направляющих 7. Перемещение плиты по направляющим производится коленчатым рычагом 9 через регулирую-

щий механизм 8. Для закрепления свариваемых деталей имеются винтовые зажимные приспособления 5. Включение и выключение сварочного тока происходит в такой последовательности. Рукоятка 13 укреплена на рычаге 9 и связана через тягу 12 с нажимным роликом 10. Нажимая на рукоятку, опускают ролик, который через сегмент 11 поворачивает систему рычагов и включает контактор 14. Выключение контактора происходит в момент осадки, когда при соответствующем повороте рычага ролик сходит с сегмента. Сила осадки составляет примерно 29,4 кН. Расстояние между плитами 80 мм, ход подвижной плиты 30 мм.

Сварочный трансформатор имеет первичную обмотку с шестиступенчатым переключателем, позволяющим изменять вторичное напряжение в

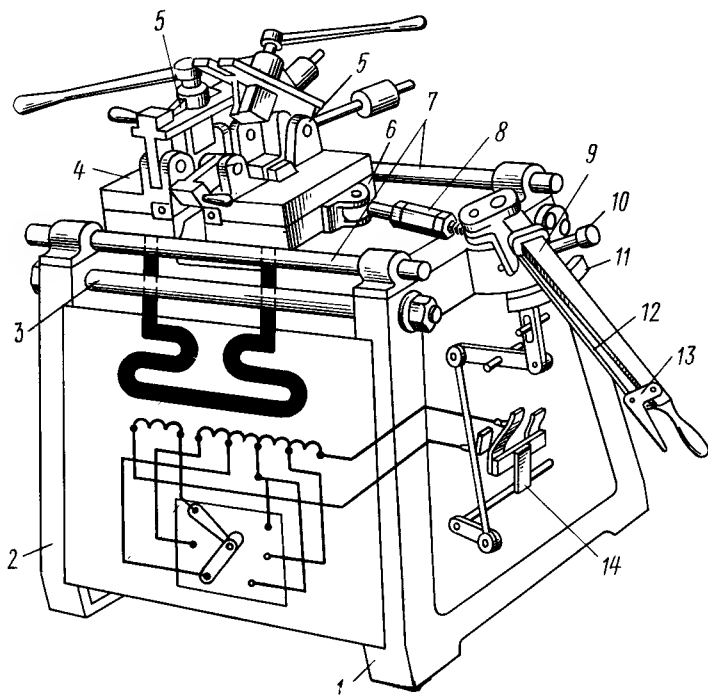


Рис. 105

пределах 3,5...7 В. Вторичная обмотка представляет собой трубчатый виток, охлаждаемый проточной водой. Машина позволяет сваривать детали с площадью сечения до 1000 мм².

Машины стыковой сварки, более совершенные и большей мощности, оборудованы механизированным приводом осадочно-подающего механизма и пневматическими или пневмогидравлическими зажимными устройствами. На рис. 106 представлены общий вид (а) и схема (б) машины МСМУ-150, предназначенной для сварки труб, стержней и других изделий из низкоуглеродистой стали площадью сечения до 2000 мм². Машина производит сварку непрерывным оплавлением в автоматическом режиме и полуавтоматическом с предварительным нагревом торцов свариваемых деталей вручную. Машина имеет станину из двух стоек и горизонтальной плиты; зажимы радиального типа с пневматическим приводом. Левый неподвижный зажим 1 изолирован от станины. Правый подвижный зажим 2 закреплен на двух направляющих. Зажимы

имеют по два пневматических цилиндра 3, расположенных последовательно в едином блоке. Воздух подается в цилиндры через вентиль 7, воздушный редуктор 6, лубрикатор 5 и электромагнитный клапан 4.

При оплавлении и осадке подвижный зажим перемещается электромеханическим приводом, состоящим из электродвигателя 9, вариатора скорости 8, двух сменных шестерен 11, редуктора 12 и кулачка 13, связанного с подвижной плитой роликом 14. Скорость вращения кулачка регулируется либо маховичком 10, который перемещает электродвигатель вдоль оси и тем самым изменяет диаметр вариатора скорости, либо с помощью сменных шестерен 11. Пневматические цилиндры 16 служат для возвращения подвижного зажима в исходное положение. Расстояние между колодками зажимов устанавливается винтом 15. Управление машиной автоматическое. В настоящее время взамен машин МСМУ-150 выпускаются конструктивно улучшенные машины того же назначения МС-2008.

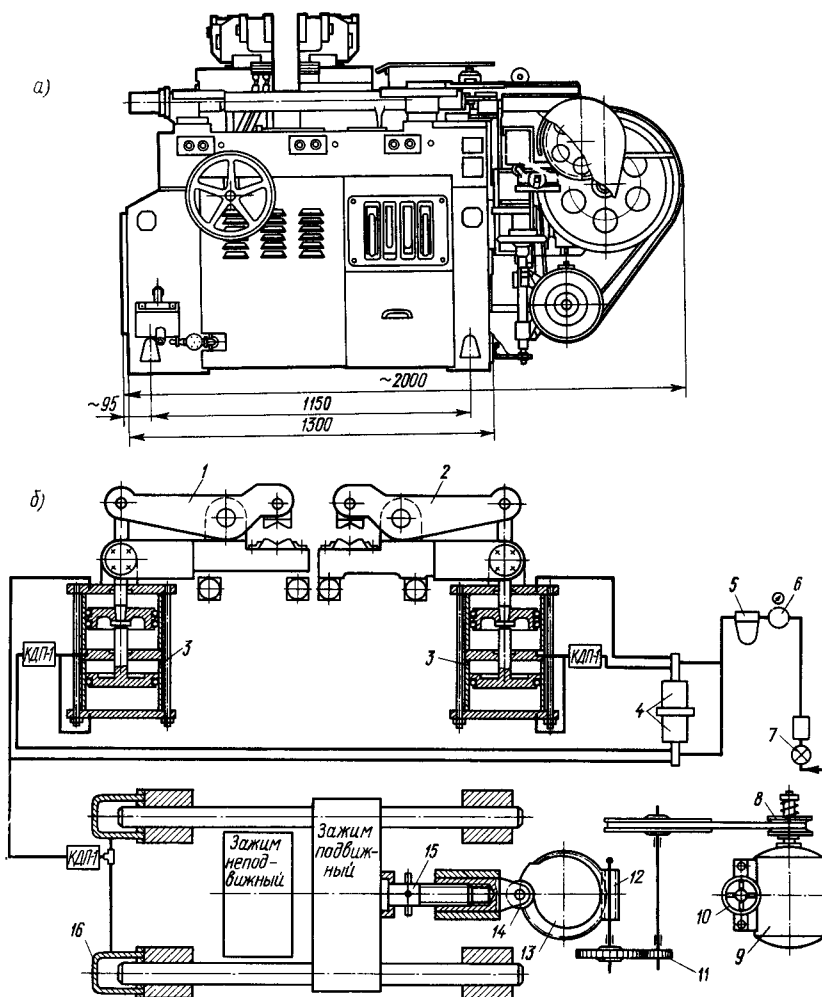


Рис. 106

Для сварки оплавлением и оплавлением с подогревом деталей больших сечений из низкоуглеродистой и низколегированной сталей применяются машины МСГА-300 (до 3000 мм²), МСГА-500 и МСГУ-500 (до 8000 мм²), отличающиеся мощностью сварочного трансформатора. Машины снабжены гидравлическим приводом, позволяющим получать различные скорости при подогреве, оплавлении и осадке. Контактные плиты имеют пневмогидравлические зажимы, позволяющие закреплять детали практически любой длины. Управление процессом автоматическое — электронным реле времени. Машины могут выполнять до 20 сварок в час.

§ 44. Машины для точечной контактной сварки

Машины для точечной сварки различаются по назначению — универсальные и специализированные; по конструктивным особенностям — двух- и многоэлектродные; по характеру установки — стационарные, передвижные и подвесные; по виду привода сжатия — педальные, с электроприводом, пневматическим, гидравлическим и комбинированным механизмами; по характеру действия — автоматические и неавтоматические.

Универсальная точечная машина АТП-60 (рис. 107) имеет педальный механизм сжатия, состоящий из пры-

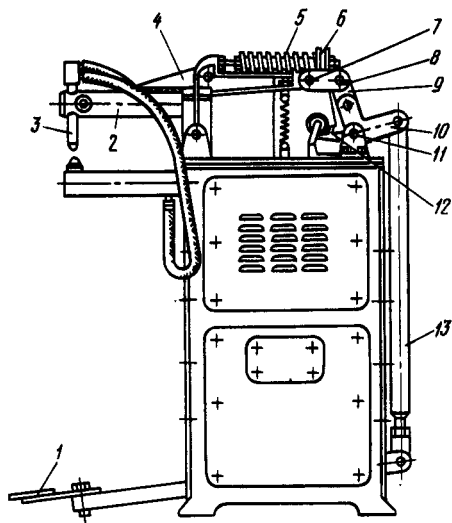


Рис. 107

жины и системы коленчатых рычагов. При нажатии на педаль 1 тяга 13, перемещаясь вверх, поворачивает коленчатый рычаг 10 на оси 11. При этом рычаги 10 и 9, шарнирно соединенные с рычагом 4, выпрямляются и сближают электроды. Когда электроды приходят в соприкосновение со свариваемыми листами, дальнейшее движение педали приводит к повороту рычага 8 на оси 7. Это вызывает сжатие пружины 5, производящей давление на свариваемые листы через электроды. Регулировка механизма сжатия производится гайками 6 и перемещением верхнего электрододержателя 3 в консоли 2. Для включения тока служит механический контактор, укрепленный на верхней плите. Включение производится собачкой 12, находящейся на оси 11. При повороте рычага 10 собачка находит на ролик и через него включает контактор. При дальнейшем движении педали собачка проскакивает и контактор размыкает сварочный ток. Машина имеет переключатель с восемью ступенями регулирования вторичного напряжения. Большим недостатком машины с педальным механизмом сжатия является ее низкая производительность. Кроме того, работа на таких машинах очень утомительна.

При изготовлении строительных конструкций и арматуры железобетонных изделий в условиях массового производства применяются более совершенные машины типа МТМ с электрическим и типа МТП с пневматическими механизмами сжатия. Они характеризуются широким диапазоном продолжительности цикла (0,05...6,75 с), силой сжатия, достигающей 58,8 кН, высокой производительностью, стабильностью режима.

Для сварки арматурных сеток железобетонных конструкций применяют многоточечные машины полуавтоматического действия МТМС-7×35 мощностью 35 кВ·А и МТМС-15×450-3 мощностью 450 кВ·А, а также автоматы АТМС-14×75-4 мощностью 75 кВ·А. Завод «Электрик» выпускает полуавтоматы МТМС-9×35 для сварки сеток шириной до 1800 мм, составленных из продольных стержней диаметром до 10 мм и поперечных стержней диаметром до 6 мм. Для сварки сеток шириной до 2700 мм при диаметре стержней до 20 мм выпускаются автоматы АТМС-14×75-5. Для сварки арматурных каркасов шириной до 575 мм применяют многоточечные машины-полуавтоматы типа МТМК-2×150 и автоматы типа АТМК. Сварку арматурных ферм производят полуавтоматами МТМФ-2×150.

Подвесные машины применяются при сварке крупногабаритных изделий, пространственных каркасов и арматуры железобетонных изделий. Наиболее распространены машины МТПГ-75-6, позволяющие сваривать внахлестку листы толщиной до 3 мм и пересечения арматурных стержней диаметром до 16 мм, а также машины МТПГ-150 для сварки листов толщиной до 5 мм и пересечений арматурных стержней диаметром до 30 мм. Машины МТГА-500 сваривают арматурные стержни диаметром до 100 мм. Для комплектования подвесных машин применяют клещи КТГ-75-1, КТГ-75-2 и КТГ-75-3, оборудованные электронным регулятором, позволяющим устанавливать продолжительность цикла сварки 0,04...1,5 с.

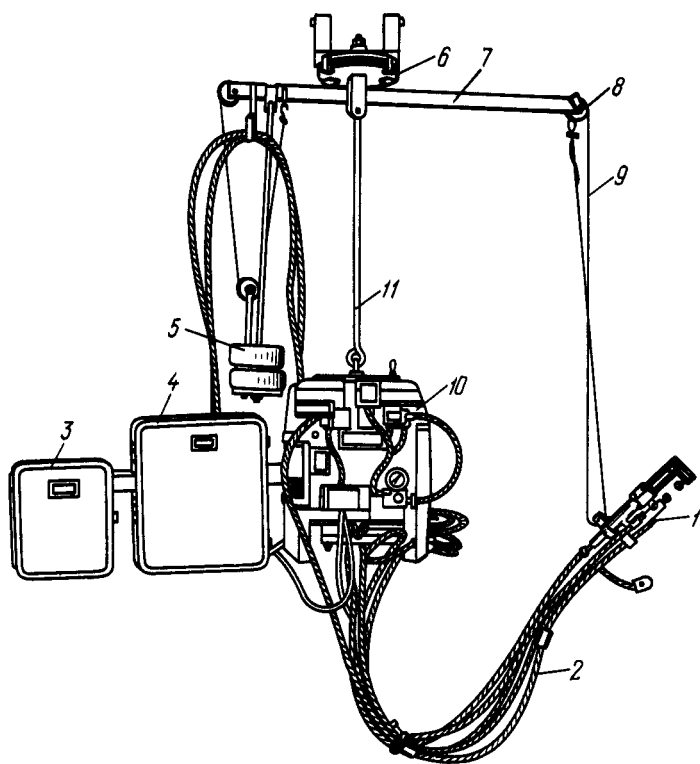


Рис. 108

Сварочные клещи связаны с машиной гибкими токоподводящими кабелями и шлангами для подвода к электродам воздуха или воды (для охлаждения электродов и создания необходимой силы сжатия). Давление сжатия, создаваемое гидроприводом, достигает 10 МПа.

Подвесная машина МТПП-75 (рис. 108) состоит из поворотной турели 6, траверсы, на которой закреплена турель, и горизонтальной штанги 7 с роликами 8 и тросом 9. На одном конце троса закреплены клещи, а на другом — противовес 5. На вертикальной штанге 11 подвешен сварочный трансформатор. Такая схема подвески позволяет вращать машину вокруг вертикальной оси. Подвесной сварочный трансформатор 10 состоит из сердечника, первичной и вторичной обмоток. От первичной обмотки сделаны отводы к переключателю для ступенчатого регулирования вторичного напряжения. Вторичная обмотка имеет два витка, которые с

помощью двух медных планок могут быть соединены параллельно или последовательно, что позволяет изменять вторичное напряжение в пределах 5...19 В. Рабочим инструментом машины являются сварочные клещи 1, которые соединены со вторичной обмоткой двумя кабелями 2, состоящими из гибких медных проводов, заключенных в резино-тканевый шланг. Кабели имеют внутреннее водяное охлаждение, позволяющее работать при высоких плотностях тока. Для создания силы сжатия в клещах применяют пневмоцилиндры. Машина укомплектована клещами КТП-1 с прямолинейным и КТП-2 — радиальным ходом электродов. Для управления работой машины используют ignитронный прерыватель 3 и регулятор времени РВЭ-7-4, которые крепятся к стене или колонне в непосредственной близости от машины.

Машины МТПГ-75 отличаются некоторой сложностью конструкции клещей КТГ-75-2, КТГ-75-5 в связи с

тем, что сжатие электродов осуществляется не пневмо-, а гидроприводом. Выпускаются подвесные машины МТП-806 и МТП-807 с технической характеристикой, близкой к технической характеристике машин МТПП-75 и МТПГ-75. Управление этими машинами осуществляется аппаратурой на полупроводниках и тиристорах. Кроме этих машин в последние годы поступили в эксплуатацию более мощные (170 кВ·А) и быстродействующие подвесные машины МТП-1203 с клещами КТГ-12-3-1 и КТГ-12-3-2.

§ 45. Машины для шовной контактной сварки

Для выполнения шовной сварки применяются машины универсальные и специализированные различной конструкции. На рис. 109 представлена

универсальная машина МШ-2001-1, предназначенная для сварки прочноплотных швов изделий из низкоуглеродистых и легированных сталей. Машина состоит из станины 1, на нижнем 2 и верхнем 5 кронштейнах которой укреплены нижняя 3 и верхняя 4 электродные головки. Привод верхнего ролика состоит из электродвигателя 12 с бесступенчатым вариатором скорости, редуктора 9 и карданного вала 8. Над электродвигателем расположены переключатель скорости 10 и регулятор цикла сварки 11. Внутри корпуса находятся сварочный трансформатор 13, автоматический выключатель 14 и ignитронный прерыватель 15. Силу сжатия создает пневматическое устройство 6, состоящее из цилиндра с верхним и нижним поршнем. Сжатый воздух поступает в верхнюю камеру и пере-

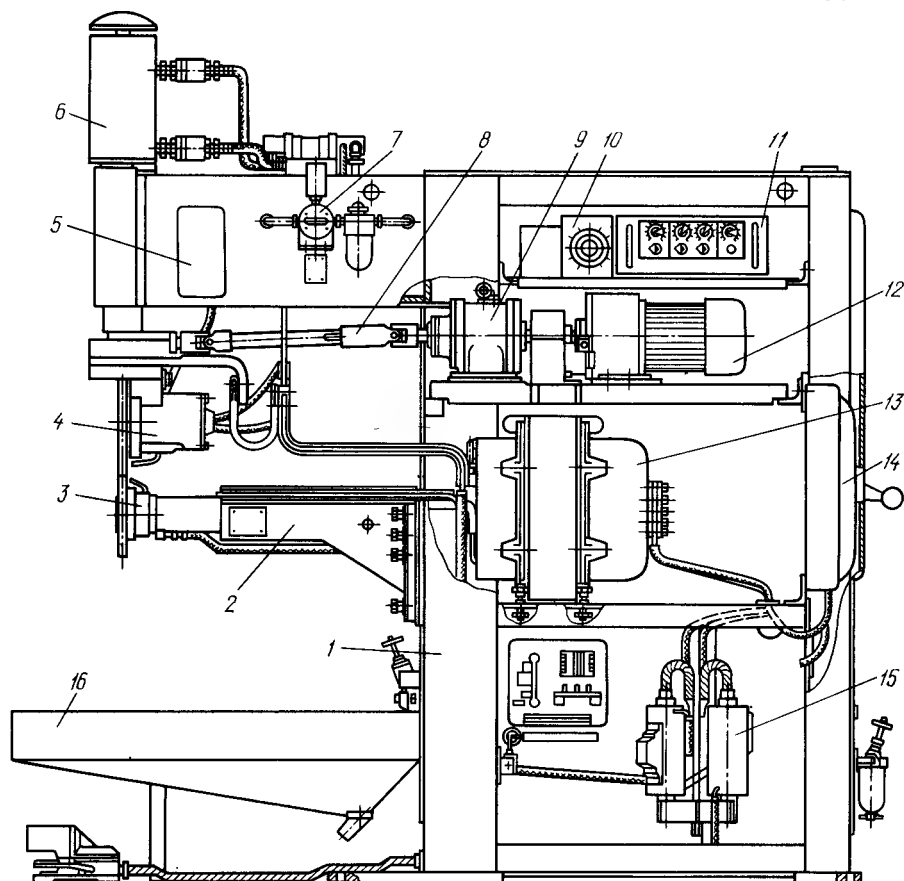


Рис. 109

мешает верхний поршень с верхней электродной головкой вниз, создавая соответствующую силу сжатия между сварочными роликами. Подъем верхнего ролика осуществляется сжатием воздухом, подаваемым в нижнюю камеру цилиндра. При этом нижний поршень перемещается вверх до упора в верхний поршень. Сила сжатия регулируется воздушным редуктором 7. Поддон 16 служит для сбора охлаждающей воды. Номинальная мощность машины — 130 кВт·А. Сварочный ток — 20 кА. Скорость сварки — 0,4...4,5 м/мин. На машине можно сваривать сталь толщиной (0,5 + 0,5)... (1,8 + 1,8) мм.

Машина МШ-3201 аналогична по конструкции, но более мощная (354 кВт·А); при сварочном токе 32 кА допускает сварку стали толщиной (0,8 + 0,8)... (2,5 + 2,5) мм при скорости сварки 0,4...4,5 м/мин.

Для сварки крупногабаритных деталей из легированных сталей, жаропрочных и титановых сплавов применяется машина МШВ-1601, в конструкции которой предусмотрена возможность привода вращения верхнего или нижнего ролика. Это позволяет в зависимости от формы, габаритов и сочетания толщин изделий выбирать необходимый вариант привода. При номинальной мощности 133 кВт·А и сварочном токе 16 кА машина допускает

сварку прочноплотным швом деталей толщиной 0,3...3 мм со скоростью 0,2...8 м/мин.

Синхронный игнитронный прерыватель тока ПИШ позволяет получать равные по значению и длительности импульсы тока через одинаковые паузы. Длительности импульсов и пауз регулируются независимо в пределах 0,02...0,38 с. Таким образом, прерыватель тока одновременно выполняет роль регулятора времени. В настоящее время на машинах устанавливают более совершенные прерыватели тока типа ПСЛ на полупроводниковых элементах. Длительности импульсов тока и пауз регулируются дискретно от 1 до 20 периодов с частотой питающей сети. Это обеспечивает практически абсолютно точный отсчет времени. ПСЛ выпускаются с игнитронным или тиристорным прерывателем. Компенсирующее устройство обеспечивает автоматическую стабилизацию сварочного тока при колебаниях напряжения в питающей машину сети путем изменения момента включения управляемых клапанов-игнитронов или тиристоров. Они допускают также плавное регулирование сварочного тока. Универсальность прерывателей ПСЛ позволяет использовать их не только в шовных машинах, но и в машинах точечной сварки.

Раздел IV ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ, НАПЛАВОЧНЫЕ РАБОТЫ. СВАРКА ТРУБОПРОВОДОВ

ГЛАВА 16 СВАРКА ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

§ 46. Свариваемость легированных сталей

Свариваемость легированных сталей оценивается не только возможностью получения сварного соединения с физико-механическими свойствами, близкими к свойствам основного металла, но и возможностью сохранения специальных свойств: коррозионной стойкости, жаропрочности, химической стойкости, стойкости против образования закалочных структур и др. Большое влияние на свариваемость стали оказывает наличие в ней различных легирующих примесей: марганца, кремния, хрома, никеля, молибдена и др.

Влияние кремния и марганца на свариваемость стали рассмотрено ранее (см. § 9).

Хром — содержание его в низколегированных сталях не превышает 0,9%. При таком содержании хром не оказывает существенного влияния на свариваемость стали. В конструкционных сталях хрома содержится 0,7...3,5%, в хромистых — 12...18%, в хромоникелевых — 9...35%. При таком содержании хром снижает свариваемость стали, так как, окисляясь, образует тугоплавкие оксиды Cr_2O_3 , резко повышает твердость стали в зоне термического влияния, образуя карбиды хрома, а также способствует возникновению закалочных структур.

Никель в низколегированных сталях содержится в пределах 0,3...0,6%, в конструкционных сталях — 1,0...5%, а в легированных сталях — 8...35%.

Никель способствует измельчению кристаллических зерен, повышению пластичности и прочности стали; не снижает свариваемости.

Молибден в теплоустойчивых сталях содержится от 0,15 до 0,8%; в сталях, работающих при высоких температурах и ударных нагрузках, его содержание достигает 3,5%. Способствует измельчению кристаллических зерен, повышению прочности и ударной вязкости стали. Ухудшает свариваемость стали, так как способствует образованию трещин в металле шва и в зоне термического влияния. В процессе сварки легко окисляется и выгорает. Поэтому требуются специальные меры для надежной защиты от выгорания молибдена при сварке.

Ванадий содержится в легированных сталях от 0,2 до 1,5%. Придает стали высокую прочность, повышает ее вязкость и упругость. Ухудшает сварку, так как способствует образованию закалочных структур в металле шва и околошовной зоны. При сварке легко окисляется и выгорает.

Вольфрам содержится в легированных сталях от 0,8 до 18%. Значительно повышает твердость стали и его теплостойкость. Снижает свариваемость стали; в процессе сварки легко окисляется и выгорает.

Титан и **ниобий** содержатся в нержавеющей и жаропрочных сталях в количестве от 0,5 до 1,0%. Они являются хорошими карбидообразователями и поэтому препятствуют обра-

зованию карбидов хрома. При сварке нержавеющей сталей ниобий способствует образованию горячих трещин.

§ 47. Сварка низколегированных сталей

Низколегированные стали получили большое применение в связи с тем, что они, обладая повышенными механическими свойствами, позволяют изготавливать строительные конструкции более легкими и экономичными. Для изготовления различных конструкций промышленных и гражданских сооружений применяются стали марок 15ХСНД, 14Г2, 09Г2С, 10Г2С1, 16ГС и др. Для изготовления арматуры железобетонных конструкций и сварных труб применяют стали 18Г2С, 25Г2С, 25ГС и 20ХГ2Ц. Эти стали относятся к категории удовлетворительно свариваемых сталей; содержат углерода не более 0,25% и легирующих примесей не более 3,0%. Следует учитывать, что при содержании в стали углерода более 0,25% возможно образование закалочных структур и даже трещин в зоне сварного шва. Кроме того, выгорание углерода вызывает образование пор в металле шва.

Сталь 15ХСНД сваривают вручную электродами типа Э50А или Э55А. Наилучшие результаты дают электроды УОНИ-13/55 и электроды Днепровского электродного завода ДСК-50. Сварку электродами ДСК-50 можно выполнять переменным током, но лучшие результаты дает сварка постоянным током обратной полярности. Многослойную сварку следует производить каскадным методом. Чтобы предупредить перегрев стали, следует выполнять сварку при токах 40...50 А на 1 мм диаметра электрода. Рекомендуется применять электроды диаметром 4...5 мм. Автоматическую сварку стали 15ХСНД производят проволокой Св-08ГА или Св-10ГА под флюсом АН-348-А или ОСЦ-45

при высоких скоростях, но при малой погонной энергии. В зимних условиях сварку конструкций из стали 15ХСНД, 15ГС и 14Г2 можно производить при температурах не ниже — 10°С. При более низких температурах зону сварки на ширине 100...120 мм по обе стороны от шва предварительно нагревают до 100...150°С. При температуре — 25°С сварка не допускается.

Стали 09Г2С и 10Г2С1 относятся к группе незакаливающихся сталей, не склонных к перегреву и стойких против образования трещин. Ручная сварка электродами Э50А и Э55А выполняется на режимах, предусмотренных для сварки низкоуглеродистой стали. Механические свойства сварного шва не уступают показателям основного металла. Автоматическая и полуавтоматическая сварка выполняется электродной проволокой Св-08ГА, Св-10ГА или Св-10Г2 под флюсом АН-348-А или ОСЦ-45. Сварку листов толщиной до 40 мм производят без разделки кромок. При этом равнопрочность сварного шва обеспечивается за счет перехода легирующих элементов из электродной проволоки в металл шва.

Стали хромокремнемарганцовистые (20ХГСА, 25ХГСА, 30ХГСА и 35ХГСА) при сварке дают закалочные структуры и склонны к образованию трещин. При этом чем меньше толщина кромок, тем больше опасность закалки металла и образования трещин, особенно в околошовной зоне. Стали с содержанием углерода ≤ 0,25% свариваются лучше, чем стали с большим содержанием углерода. Для сварки могут применяться электроды НИАТ-3М типа Э70, Э85. Для ответственных сварных швов рекомендуются электроды, изготовленные из проволоки Св-18ХГС или Св-18ХМА с покрытием ЦЛ-18-63, ЦК-18Мо, УОНИ-13/65, УОНИ-13/85, УОНИ-13/НЖ.

При сварке можно рекомендовать следующие режимы:

Толщина металла, мм	0,5...1,5	2...3	4...6	7...10
Диаметр электрода, мм	1,5...2,0	2,5...3	3...5	4...6
Сварочный ток, А	20...40	50...90	100...160	200...240

При сварке более толстых металлов применяется многослойная сварка с малыми интервалами времени между наложениями последующих слоев. При сварке кромок разной толщины сварочный ток выбирается по кромке большей толщины и на нее направляется большая часть зоны дуги. Для устранения закалки и повышения твердости металла шва и околошовной зоны рекомендуется после сварки нагреть изделие до температуры 650...680°C, выдержать при этой температуре определенное время в зависимости от толщины металла (1 ч на каждые 25 мм) и охладить на воздухе или в горячей воде.

Сварку низколегированных сталей в защитном газе производят при плотностях тока более 80 А/мм². Сварка в углекислом газе выполняется на постоянном токе обратной полярности. Рекомендуется электродная проволока диаметром 1,6—2,0 мм марки Св-08Г2С или Св-10Г2, а для сталей, содержащих хром и никель, — Св-08ХГ2С, Св-08ГСМТ.

Электрошлаковая сварка сталей любой толщины успешно производится электродной проволокой марки Св-10Г2 или Св-18ХМА под флюсом АН-8 при любой температуре окружающего воздуха. Прогрессивным способом является сварка в углекислом газе с применением порошковой проволоки.

Газовая сварка отличается значительным разогревом свариваемых кромок, снижением коррозионной стойкости, более интенсивным выгоранием легирующих примесей. Поэтому качество сварных соединений ниже, чем при других способах сварки. При газовой сварке пользуются только нормальным пламенем при удельной мощности 75...100 л/(ч·мм) при левом способе, а при правом способе — 100...130 л/(ч·мм). Присадочным материалом служат проволоки Св-08, Св-08А, Св-10Г2, а для ответственных швов — Св-18ХГС и Св-18ХМА. Прокровка шва при температуре 800...850°C с последующей нормализацией несколько повышает механические свойства шва.

§ 48. Сварка средне- и высоколегированных сталей

Сварка средне- и высоколегированных сталей затруднена по следующим причинам: в процессе сварки происходит частичное выгорание легирующих примесей и углерода; вследствие малой теплопроводности возможен перегрев свариваемого металла; повышенная склонность к образованию закалочных структур; больший, чем у низкоуглеродистых сталей, коэффициент линейного расширения может вызвать значительные деформации и напряжения, связанные с тепловым влиянием дуги. Чем больше в стали углерода и легирующих примесей, тем сильнее сказываются эти причины. Для устранения влияния их на качество сварного соединения рекомендуются следующие технологические меры:

тщательно подготавливать изделие под сварку;

сварку вести при больших скоростях с малой погонной энергией, чтобы не допускать перегрева металла;

применять термическую обработку для предупреждения образования закалочных структур и снижения внутренних напряжений;

применять легирование металла шва через электродную проволоку и покрытие, чтобы восполнить выгорающие в процессе сварки примеси.

Для сварки высоколегированных сталей применяют электроды по ГОСТ 10052—75 «Электроды покрытые металлическими для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами. Типы». Электроды изготавливают из высоколегированной сварочной проволоки по ГОСТ 2246—70. Применяют покрытие типа Б. Обозначение типа электрода состоит из индекса Э и следующих за ним цифр и букв. Две или три цифры, следующие за индексом, указывают на количество углерода в металле шва в сотых долях процента. Следующие затем буквы и цифры указывают химический состав металла,

наплавленного электродом. Сварку производят постоянным током обратной полярности. При этом сварочный ток выбирается из расчета 25...40 А на 1 мм диаметра электрода. Длина дуги должна быть возможно короткой. Рекомендуется применять многослойную сварку валиками малого сечения при малой погонной энергии.

В строительстве и промышленности широко применяются средне- и высоколегированные стали: хромистые, хромоникелевые, марганцовистые, молибденовые и др.

Хромистые стали относятся к группе нержавеющей коррозионно-стойких и кислотостойких сталей. По содержанию хрома они делятся на среднелегированные (до 14% Cr) и высоколегированные (14...30% Cr). При сварке хромистых сталей возникают следующие затруднения. Хром при температуре 600...900 °С легко вступает во взаимодействие с углеродом, образуя карбиды, которые, располагаясь в толще металла, вызывают межкристаллитную коррозию, снижающую механические свойства стали. При этом чем выше содержание углерода в стали, тем активнее образуются карбидные соединения. Кроме того, хромистые стали обладают способностью к самозакаливанию (при охлаждении на воздухе), вследствие чего при сварке металл шва и околшовной зоны получает повышенную твердость и хрупкость. Возникающие при этом внутренние напряжения повышают опасность возникновения трещин в металле шва. Усиленное окисление хрома и образование густых и тугоплавких оксидов являются также серьезными препятствиями при сварке хромистых сталей.

Среднелегированные хромистые стали мартенситного класса (углерода до 2%) свариваются удовлетворительно, но требуют подогрева до 200...300 °С и последующей термической обработки.

Высоколегированные хромистые стали ферритного класса (углерода до 0,35%) сваривают с предварительным

нагревом до 300...700 °С; после сварки для снятия внутренних напряжений и восстановления первоначальных физико-механических свойств изделие подвергают высокому отпуску (нагрев до 650...750 °С и медленное охлаждение). Electrodes изготовляют из сварочной проволоки марок Св-01Х19Н9, Св-04Х19Н9 и Св-07Х25Н13 с покрытием, содержащим плавиковый шпат и оксид марганца. Это обеспечивает получение жидкого шлака, хорошо растворяющего оксиды хрома. Рекомендуются покрытия ЦЛ-2, ЦТ-2 и УОНИ-13/НЖ.

Хромистые стали, как и большинство легированных сталей, обладают малой теплопроводностью и легко подвергаются перегреву. Поэтому сварку их производят постоянным током обратной полярности при малых сварочных токах. Ток берут из расчета 25...30 А на 1 мм диаметра электрода.

Высоколегированные *хромоникелевые аустенитные стали* обладают рядом важных физико-химических и механических свойств: коррозионной стойкостью, кислотоупорностью, теплостойкостью, вязкостью, стойкостью против образования окалины. Важным качеством этих сталей является хорошая свариваемость. Стали марок 08Х18Н10 и 12Х18Н9 при нагреве до температуры 600...800 °С теряют антикоррозионную стойкость. Выделение карбидов хрома по границам зерен приводит к межкристаллитной коррозии стали. Поэтому сварку следует выполнять постоянным током обратной полярности при малых сварочных токах, сокращая продолжительность нагрева металла. Следует применять также меры по отводу теплоты, например, с помощью медных подкладок или охлаждения. После сварки рекомендуется изделие подвергнуть закалке с температуры 850...1100 °С в воде (или воздухе для малых толщин металла).

Хромоникелевые стали марок 12Х18Н9Т и 08Х18Н12Б содержат титан и ниобий, которые, являясь более сильными карбидообразователями, связывают углерод стали, предупреждая образование карбидов хро-

ма. Поэтому эти стали после сварки не подвергают термообработке. Для сварки хромоникелевых сталей применяют электроды марок ОЗЛ-7, ОЗЛ-8, ЦТ-1 и ЦТ-7. Рекомендуются электроды, изготовленные из сварочной проволоки Св-01Х19Н9, Св-06Х19Н9Т или Св-04Х19Н9С2 с покрытием ЦЛ-2, ЦЛ-4 (содержащим 35,5% мрамора, 41% плавикового шпата, 8,5% ферромарганца и 15% молибдена), УОНИ-13/НЖ и др. Тонколистовую сталь 12Х18Н9Т следует сваривать аргонодуговой сваркой, так как при сварке качественными электродами или под флюсом происходит науглероживание металла шва, которое снижает стойкость стали против межкристаллитной коррозии.

Хромоникелевые аустенитные стали сваривают газовой сваркой при толщине металла не более 3 мм точно нормальным пламенем при удельной мощности 75 л/(ч·мм). Присадочным материалом служат проволоки Св-01Х19Н9, Св-04Х19Н9С2, Св-06Х19Н9Т, Св-07Х19Н10Б.

Высоколегированная *марганцовистая сталь*, обладающая большой твердостью и износостойкостью, содержит 13...18% марганца и 1,0...1,3% углерода. Она применяется для изготовления зубьев экскаваторов, шеек камнедробилок и других рабочих органов дорожных и строительных машин, работающих при ударных нагрузках и на истирание. Для сварки применяют электроды со стержнями из углеродистой проволоки Св-08А, Св-08ГА, Св-10Г2 с покрытием, которое применяется для наплавочных электродов марки ОМГ, содержащим 23% мрамора, 15% плавикового шпата, 60% феррохрома, 2% графита, замешанных на жидком стекле (30% к общей массе сухих компонентов), а также типа ОЗН (45...49% мрамора, 15...18% плавикового шпата, 26...33% ферромарганца, 3% алюминия, 4% поташа, замешанных на жидком стекле). Применяют также стержни электродов из проволоки Св-04Х19Н9 и Св-07Х25Н13 с покрытием ЦЛ-2, состоящим из

44% мрамора, 51% плавикового шпата, 5% ферромарганца, замешанных на жидком стекле (20...22% к массе сухих компонентов). Хорошие результаты дает также покрытие УОНИ-13/НЖ. Сварка выполняется постоянным током обратной полярности короткими участками. Сварочный ток определяется из расчета 30...35 А на 1 мм диаметра электрода. Для получения шва повышенной прочности и износостойкости сварной шов следует проковать в горячем состоянии. При этом металл шва следует интенсивно охлаждать холодной водой (закалывать).

Стали молибденовые, хромомолибденовые и хромомолибденованадиевые относятся к теплоустойчивым сталям перлитного класса. Эти стали применяют при изготовлении сварных паровых котлов, турбин, различной аппаратуры в химической и нефтяной промышленности, работающей при высоких температурах и давлениях. Как правило, эти стали свариваются удовлетворительно при выполнении установленных технологических приемов: предварительного нагрева до 200...300 °С и последующего отжига при температуре 680...780 °С или отпуска при температуре 650 °С. Температура окружающего воздуха должна быть не ниже +5 °С. Сварка выполняется постоянным током обратной полярности. Рекомендуются электроды типа ОЗС-11, ТМЛ, ЦЛ-38 и др.

Для автоматической и полуавтоматической сварки применяют сварочную проволоку Св-08ХМ, Св-10Х5М, Св-18ХМА. При сварке в углекислом газе применяют предварительный и сопутствующий нагрев до 250...300 °С, а присадочную проволоку — Св-10ХГ2СМА. После сварки рекомендуется термообработка.

Газовая сварка выполняется нормальным пламенем при удельной мощности 100 л/(ч·мм). Присадочный материал — сварочная проволока Св-08ХНМ, Св-18ХМА, Св-08ХМ. Рекомендуется предварительный нагрев до 250...300 °С. После сварки необходима термообработка — нормализация с температуры 900...950 °С.

При сварке легированных сталей не следует допускать перегрева зоны термического влияния. Сварку выполняют при относительно малых сварочных токах (25...40 А на 1 мм диаметра электрода). Перед сваркой

сталь подогревают, а затем производят соответствующую термообработку для получения высоких механических свойств и равновесной структуры металла. Сварка при температуре ниже + 5°C не допускается.

ГЛАВА 17

СВАРКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И ИХ СПЛАВОВ

§ 49. Особенности сварки цветных металлов и их сплавов

Особенности сварки цветных металлов и их сплавов обусловлены их физико-механическими и химическими свойствами. Температуры плавления и кипения цветных металлов невысокие, поэтому при сварке легко получить перегрев и даже испарение металла. Если сваривают сплав металлов, то перегрев и испарение его составляющих может привести к образованию пор и изменению состава сплава. Способность цветных металлов и их сплавов легко окисляться с образованием тугоплавких оксидов значительно затрудняет процесс сварки, загрязняет сварочную ванну, снижает физико-механические свойства сварного шва. Ухудшению качества сварного соединения способствует также повышенная способность расплавленного металла (сплава) поглощать газы (кислород, азот, водород), что приводит к пористости металла шва. Большая теплоемкость и высокая теплопроводность цветных металлов и их сплавов вызывают необходимость повышения теплового режима сварки и предварительного нагрева изделия перед сваркой. Относительно большие коэффициенты линейного расширения и большая линейная усадка приводят к возникновению значительных внутренних напряжений, деформаций и к образованию трещин в металле шва и околошовной зоны. Резкое уменьшение механической прочности и возрастание хрупкости металлов при нагреве могут привести к непредвиденному разрушению изделия.

Для выполнения качественного сварного соединения применяют различные технологические меры, учитывающие особенности сварки каждого металла (сплава) и обеспечивающие получение шва с требуемыми физико-механическими свойствами.

§ 50. Сварка меди и ее сплавов

Медь получила большое применение в технике благодаря высокой электропроводности и теплопроводности, а также хорошей химической стойкости. При дуговой сварке меди следует учесть, что теплопроводность меди примерно в шесть раз больше теплопроводности железа. При температуре 500...600 °C медь приобретает хрупкость, а при 700...800 °C прочность меди настолько снижается, что уже при легких ударах образуются трещины. Плавится медь при температуре 1083 °C.

Свариваемость меди в значительной степени зависит от наличия в металле различных примесей: висмута, свинца, сурьмы, мышьяка. Чистая электролитическая медь обладает наилучшей свариваемостью. Расплавленная медь легко окисляется, образуя оксид меди $\text{Cu}_2\text{O}(I)$, и легко поглощает водород и оксид углерода. При охлаждении в объеме металла выделяются пузырьки паров воды и углекислого газа, которые не растворяются в меди. Эти газы, расширяясь, создают большое внутреннее давление и приводят к образованию мелких межкристаллитных трещин. Это явление получило название водородной болезни меди. Сварку меди и ее сплавов производят только

в нижнем положении или при очень малых углах наклона.

Ручная дуговая сварка меди выполняется плавящимся или неплавящимся электродом. При сварке угольным или графитовым электродом в качестве присадочного материала применяют прутки из меди марки М1, прутки из бронзы БрОФ6,5-0,15, латуни ЛК62-0,5 или медные марки МСр1 (1% Ag).

Для предохранения меди от окисления и улучшения процесса сварки применяют флюсы, которые наносят на разделку шва и на присадочные прутки. Флюсы применяют следующих составов: 1) буры прокаленной — 68%, кислого фосфорнокислого натрия — 15%, кремниевой кислоты — 15%, древесного угля — 2%; 2) буры прокаленной — 50%, кислого фосфорнокислого натрия — 15%, кремниевой кислоты — 15%, древесного угля — 20%. Можно также применять только буру, но лучше с присадкой 4...6% металлического магния.

Листы толщиной до 4 мм можно сваривать с отбортовкой без присадочного металла, а более 4 мм — со скосом кромок под углом 35...45°. Сборка под сварку должна обеспечить минимальные зазоры (до 0,5 мм), чтобы предупредить протекание расплавленного металла шва. Рекомендуется также использовать подкладки из графита, асбеста или керамики. По концам шва следует сделать формовку. Сварку производят постоянным током прямой полярности. Длина дуги должна составлять 10...13 мм, напряжение 45...60 В. Сварку ведут со скоростью не менее 0,2...0,3 м/мин и при возможности за один проход.

Режимы сварки угольным электродом зависят от толщины свариваемых кромок. При толщине листов до 4 мм используют угольные электроды диаметром 4...6 мм, а сварочный ток выбирают в пределах 140...320 А. При толщине листов более 4 мм применяют электроды диаметром 8...10 мм при сварочном токе 350...550 А. После

сварки металл шва проковывают (тонкие листы — в холодном, а толстые — в нагретом до температуры 200...350 °С состоянии). Для повышения вязкости металла шов подвергают отжигу с нагревом до температуры 500...550 °С и быстрым охлаждением в воде.

При сварке металлическим электродом подготовка кромок и обработка шва производится так же, как и при сварке угольным электродом. Металлические электроды изготовляют из меди марки М1. Покрытие, рекомендуемое заводом «Комсомолец», имеет следующий состав (в %): ферромарганца — 50, ферросилиция (75%-ного) — 8, полевого шпата — 12, плавикового шпата — 10, жидкого стекла — 20. Толщина покрытия — 0,4 мм.

Применяют также электроды марки ЭТ Балтийского завода со стержнем из бронзы БрКМц3-1 и покрытием следующего состава (в %): марганцевой руды — 17,5, ферросилиция (75%-ного) — 32, плавикового шпата — 32, графита серебристого — 16 и алюминия — 2,5. Связующим веществом является жидкое стекло. Покрытие наносят на стержень диаметром 4...6 мм слоем толщиной 0,2...0,3 мм. Сварку выполняют возможно короткой дугой на постоянном токе обратной полярности. Сварочный ток определяют из расчета 50...60 А на 1 мм диаметра электрода.

Сварку меди в защитных газах выполняют угольным или вольфрамовым электродом на постоянном токе прямой полярности. Защитными газами служат аргон, гелий или азот. Присадочную проволоку применяют марки М1 или БрКМц3-1.

Автоматическую сварку меди производят под флюсом ОСЦ-45, АН-348-А или АН-20 проволокой диаметром 1,6...4 мм марки М1 или БрКМц3-1. Напряжение — 38...40 В, сварочный ток — 100 А на 1 мм диаметра проволоки. Ток — постоянный, обратной полярности. Скорость сварки 15...25 м/ч. Листы толщиной более 8 мм требуют предварительного нагрева. После сварки производится обычная обработка шва.

При газовой сварке следует учитывать высокую теплопроводность меди и поэтому для сварки требуется пламя повышенной мощности. Для листов толщиной до 10 мм удельная мощность пламени должна быть равна 150 л/(ч·мм), а для листов толщиной свыше 10 мм — 200 л/(ч·мм). Рекомендуется производить сварку одновременно двумя горелками: одна для подогрева свариваемых кромок с удельной мощностью 150...200 л/(ч·мм) и вторая — для сварки с удельной мощностью 100 л/(ч·мм). Для уменьшения отвода теплоты изделие закрывают листовым асбестом. Пламя должно быть строго нормальным. Избыток ацетилена вызывает появление пор и трещин, а избыток кислорода приводит к окислению металла шва. Мундштук горелки устанавливают под углом 80...90°. Нагрев и плавку меди производят восстановительной зоной пламени. Сварку производят быстро, без перерывов, в один проход. В процессе сварки подогретый конец присадочного прутка периодически обмакивают во флюс и таким образом переносят налитый флюс в сварочную ванну. Для получения мелкозернистой структуры и уплотнения металла производят проковку шва. Металл толщиной до 5 мм проковывают в холодном состоянии, а при большей толщине — в горячем состоянии при температуре 200...300 °С. После проковки следует произвести отжиг с нагревом до 500...550 °С и охлаждением в воде. При этом шов получается более пластичным.

Латунь — сплав меди с цинком сваривают всеми способами, указанными выше для меди. Основное затруднение при сварке латуни связано с кипением и интенсивным испарением цинка, пары которого в воздухе образуют ядовитые оксиды.

При сварке латуни угольным электродом применяют присадочные прутки из латуни ЛМц58-2 и флюс из мелотого борного шлака или буры. Применяют также прутки из латуни типа ЛК, содержащей кроме меди и цинка еще и кремний.

При сварке плавящимся электродом применяют проволоку из латуни, содержащей цинка 38,5...42,5%, марганца 4...5%, алюминия 9,5%, железа 0,5...1,5% (остальное — медь). Покрытие наносят в два слоя. Первый слой толщиной 0,2...0,3 мм состоит из марганцевой руды (30%), титанового концентрата (30%), ферромарганца (15%), мела (20%) и сернокислого калия (5%). Связующим веществом является жидкое стекло. Второй слой толщиной 0,8...1,1 мм состоит из борного шлака, замешанного на жидком стекле.

Автоматическая сварка латунных изделий производится электродной проволокой марки М1 под флюсом АН-348-А или ОСЦ-45 с добавкой 10 мас. ч. борной кислоты и 20 мас. ч. кальцинированной соды на 100 мас. ч. флюса. Сварка ведется постоянным током прямой полярности. Напряжение тока 38...42 В. Сварочный ток при диаметре проволоки 2 мм составляет 300...480 А.

Латунь при газовой сварке нормальным пламенем выделяет пары цинка, в результате чего шов получается пористым. Поэтому применяют пламя с избытком кислорода (до 30...40%). Избыток кислорода окисляет часть цинка. Образующаяся на поверхности сварочной ванны оксидная пленка защищает расплавленный металл от дальнейшего окисления. Свариваемые кромки зачищают до металлического блеска. Оксиды удаляют травлением 10%-ным водным раствором азотной кислоты с последующей промывкой горячей водой и протиркой насухо. Удельная мощность пламени 100...150 л/(ч·мм). Мундштук горелки устанавливают под углом 80...90°, а присадочный пруток — под углом 80° к мундштуку горелки. Чтобы не допустить интенсивного окисления, сварку производят быстро, без перерывов, в один проход. Расстояние от ядра пламени до ванны — 7...10 мм. Латунь толщиной более 15 мм рекомендуется предварительно нагревать до 500...550 °С. После сварки шов проковывают. Если латунь содержит меди

более 60%, проковку шва производят в холодном состоянии. Если же в латуни меди менее 60%, то швы проковывают при температуре 700 °С. После проковки швы подвергают отжигу при температуре 600...650 °С с последующим медленным охлаждением. Получаются пластичные швы с мелкозернистой структурой.

Бронза — сплав меди с оловом, алюминием, кремнием, марганцем, цинком и свинцом. При сварке угольным электродом оловянистых бронз в качестве присадочного материала применяют прутки из сплава, содержащего 95...96% меди, 3...4% кремния, 0,25% фосфора. Флюс — прокаленная бура или борный шлак. При сварке специальных бронз применяют прутки, изготовленные из бронз свариваемых марок или близких им по химическому составу. Ток постоянный, прямой полярности. Сварку металлическим электродом фосфористой бронзы выполняют прутками следующего состава: 10...12% олова, 0,15...0,45% фосфора, остальное — медь. Для свинцовых бронз применяют прутки из сплава, содержащего 21% свинца, 8% олова, 1,5% цинка, остальное — медь. Прутки покрывают различными защитными покрытиями. Ток постоянный, обратной полярности. При диаметре прутка 6...8 мм сварочный ток составляет 200...300 А. Рекомендуется предварительный нагрев свариваемых деталей до температуры 250...300 °С. Допускается легкая проковка сварного шва для улучшения качества наплавленного металла.

Бронза имеет различные примеси, которые при сварке легко выгорают, вследствие чего образуется пористый шов. Поэтому газовую сварку бронзы производят нормальным пламенем. Удельная мощность горелки — 100...150 л/(ч·мм). Свариваемые кромок подготавливают так же, как и при сварке меди. Сварку ведут возможно быстро, без перерывов, в один проход. Конец ядра пламени должен быть на расстоянии 7...10 мм от поверхности сварочной ванны. Как и при сварке меди, допускается применение

второй подогревающей горелки удельной мощностью 100 л/(ч·мм). После сварки изделие нагревают до температуры 400...450 °С и затем охлаждают в воде.

§ 51. Сварка алюминия и его сплавов

Алюминий обладает малой плотностью, высокой тепло- и электропроводностью. Применяется как в чистом виде, так и в виде сплавов с марганцем, медью, магнием и кремнием. Наибольшее применение получили сплавы алюминия с марганцем марки АМц, сплавы алюминия с магнием марок АМг и АМг6. Из алюминиевомагниевокремнистых сплавов применяются АВ, В92 и АД33.

Поверхность алюминия и его сплавов покрыта тугоплавкой оксидной пленкой, плавящейся при температуре 2050 °С. Эта пленка очень затрудняет сплавление основного и присадочного металлов, поэтому свариваемые кромок необходимо тщательно очистить механическим или чаще всего химическим способом. Следует иметь в виду, что при нагреве до 400...500 °С прочность алюминия резко падает и деталь может разрушиться даже под действием собственного веса.

Дуговую сварку строительных конструкций производят угольным или плавящимся электродом. При сварке угольным электродом присадочным материалом служат прутки из алюминия А0, А1 или сплавов АМц, АК. Наличие кремния в присадочном материале повышает текучесть металла, снижает усадку и уменьшает опасность образования трещин в металле шва. Сварку выполняют постоянным током прямой полярности. Диаметр электрода выбирают в пределах 6...15 мм в зависимости от толщины свариваемых кромок. Сварочный ток соответственно составляет 150...500 А. Перед сваркой присадочный прутки и свариваемые кромок покрывают флюсом. При сварке плавящимся электродом применяют стержни из сварочной про-

волоки СвА97, СвАМц, СвАК5 (ГОСТ 7871—75) или проволоки из сплава того же состава, что и свариваемый металл. Сварку производят постоянным током обратной полярности возможно короткой дугой. Сварочный ток определяют из расчета 25...30 А на 1 мм диаметра электрода.

Для удаления оксидной пленки применяют флюс АФ-4А, содержащий 28% хлористого натрия, 50% хлористого калия, 14% хлористого лития и 8% фтористого натрия. При сварке металлическим электродом применяют различные покрытия, которые также в основном содержат хлористый натрий, хлористый калий, фтористый калий, фтористый натрий, криолит, сернокислый натрий, хлористый литий и др. В качестве связующего вещества применяют декстрин или густой раствор поваренной соли. Покрытие наносят на стержень электрода слоем толщиной 1...1,2 мм. Листы толщиной до 3 мм сваривают с отбортовкой, а при толщине металла 4...8 мм — без скоса кромок. Листы толщиной более 8 мм сваривают со скосом кромок с углом раскрытия 60...70°. Кромки листов толщиной более 8 мм перед сваркой нагревают до температуры 200...250 °С. После сварки швы тщательно очищают от шлаков и остатков флюса (промывка горячей водой, протирка щеткой и ветошью). Для более полной очистки применяют травление 5%-ным раствором азотной кислоты с последующей промывкой горячей водой и сушкой.

Автоматическую и полуавтоматическую сварку по флюсу применяют для листов и деталей с толщиной кромок более 8 мм. Применяют электродную проволоку СвАМц диаметром 2...3 мм. Флюс АН-А1, состоящий из 20% хлористого натрия, 50% хлористого калия и 30% криолита, наносят на свариваемый шов слоем толщиной 10...35 мм. Сварку производят постоянным током обратной полярности при напряжении дуги 38...44 В. Вылет электрода — 25...

40 мм. Ток составляет 300...450 А. Скорость сварки 12...20 м/ч.

Аргонодуговая сварка алюминия и его сплавов получила наибольшее распространение благодаря хорошим качествам сварного шва. При этом нет необходимости применять сложные флюсы и покрытия, остатки которых могут вызвать коррозию металла шва. Сварку производят постоянным током обратной полярности или переменным током, но с обязательным применением осциллятора и балластного реостата. Ручную сварку выполняют вольфрамовым электродом на установках УДГ-300 и УДГ-500.

При толщине свариваемых кромок до 6 мм применяют электроды диаметром до 4 мм, а для кромок больших толщин — до 6 мм. Сварочный ток определяют из расчета 30...45 А на 1 мм диаметра электрода. Расход аргона составляет 6...15 л/мин. Сварку производят при минимальной длине дуги (менее 2 мм). Это обеспечивает энергичное разрушение оксидной пленки вследствие катодного распыления и улучшенную защиту зоны сварки аргоном. Сварку выполняют на специализированном автомате АДСВ-2.

Полуавтоматическую и автоматическую сварку в аргоне плавящимся электродом выполняют специальными шлаковыми полуавтоматами и автоматами. Сварку производят постоянным током обратной полярности. Применяют сварочную проволоку марок СвА97, СвАМц, СвАК или того же состава, что и свариваемый металл. Металл толщиной до 10 мм сваривают без разделки кромок, при больших толщинах кромок применяют V- и X-образные разделки шва. Сварочный ток при электродной проволоке диаметром 2,0 мм составляет 250...300 А. Скорость сварки достигает 30...40 м/ч.

Газовая сварка алюминия и его сплавов дает хорошие результаты при правильном выборе режима сварки и применении флюсов. Листы толщиной до 3 мм сваривают с отбортовкой кромок на высоту при-

мерко угроенной толщиной листа. При толщине листов до 5 мм сварку производят без скоса кромок с зазором до 0,5 мм. Листы толщиной 5...15 мм сваривают с односторонним, а при большей толщине — с двусторонним скосом кромок. Угол разделки составляет 60...70°. Сварку нахлесточных соединений применять не следует, так как флюс затекающий в зазор между листами, вызывает коррозию и разрушение шва. Кромки соединения и присадочную проволоку очищают от оксидной пленки механическим или химическим способом. Механическую очистку производят обезжириванием в щелочном растворе с последующей очисткой металлической щеткой. Сварку следует выполнять не позднее чем через 2 ч после очистки. Химическую очистку производят в такой последовательности: кромки обезжиривают и промывают в 5%-ном растворе каустической соды; затем соединяемые части промывают водой, насухо

протирают тряпкой и просушивают. Сварку следует выполнять не позднее чем через 8 ч после очистки. Флюс наносят на свариваемые кромки и присадочную проволоку в виде пасты или насыпают в разделку шва в виде порошка. Флюсы хранят в герметически закрытых сосудах, так как они очень интенсивно поглощают влагу из воздуха.

Сварку выполняют левым способом нормальным пламенем или с небольшим избытком ацетилена. Следует учесть, что большой избыток ацетилена способствует образованию пор в сварном шве. Большую опасность представляет избыток кислорода, который значительно затрудняет сварку, интенсивно окисляя алюминий. Угол наклона мундштука горелки в начале сварки устанавливают 70...80°, а затем уменьшают до нормального значения 30...45°. Мощность сварочного пламени зависит от толщины металла:

Толщина металла, мм
Мощность горелки, л/ч ацетилена

1	1,5-2	3-4	6-8
75	150	300	500 750 1000

При сварке силуминов рекомендуется предварительно нагреть изделие до 200...250°C, а после сварки произвести отпуск при температуре 300...350°C с последующим медленным охлаждением. Швы на сварных

соединениях из проката производят легкими ударами в холодном состоянии. Остатки флюса и шлака тщательно удаляют с помощью металлической щетки и горячей воды.

ГЛАВА 18 СВАРКА ЧУГУНА

§ 22. Особенности сварки чугуна

Чугуны представляют собой железоуглеродистые сплавы, в которых содержание углерода превышает 1,7%. Чугуны, применяемые в промышленности и строительстве, имеют следующие примеси: 2,0...4,0% углерода; 0,5...1,6% марганца, 0,5...4% кремния; 0,02...0,2% серы и 0,02...0,2% фосфора. Специальные чугуны имеют также легирующие примеси: никель, хром, медь, титан, алюминий.

Углерод в чугуне может находиться в виде карбида железа Fe₃C (первичный и вторичный цементит). Такой чугун, называемый «белым чугуном», обладает повышенной твердостью и плохо поддается механической обработке. В сером чугуне углерод находится в свободном состоянии в виде прослоек графита и только частично может быть в виде вторичных карбидов (перлит). Кремний способствует графитизации чугуна и увеличению размеров графитовых включений. Мар-

газет при содержании в чугуне до 0,7% слабо способствует графитизации, а при содержании свыше 1% препятствует распаду карбида железа. Сера является вредной примесью: она снижает пластичность чугуна, ухудшает литейные качества и дает соединение Fe_3S , способствующее образованию трещин при сварке. Сера препятствует распаду карбида железа и выделению свободного углерода. Фосфор является слабым графитизатором; он улучшает литейные качества чугуна, повышая жидкотекучесть. Из легирующих примесей сильным графитизатором является алюминий. Выделению графита способствуют также никель, кобальт, медь, титан. Хром, ванадий и молибден препятствуя распаду карбида железа, действуют как размельчители зерна.

Большое применение получили модифицированные и высокопрочные чугуны, имеющие ферритную или перлитную основу или их сочетание. Эти чугуны обладают высокими механическими свойствами и применяются при изготовлении ответственных деталей машин. Их высокие механические свойства обусловлены тем, что вместо вытянутых пластин и прожилок графита, нарушающих целостность металлической основы (как в сером чугуне), графит в высокопрочном чугуне имеет глобулярную форму, обеспечивающую наибольшую сплошность металлической основы.

Основная трудность, возникающая при сварке чугунов, обусловлена их физико-механическими свойствами.

Быстрое охлаждение жидкого металла в зоне сварки, а также выгорание кремния из расплава шва способствует местному «отбеливанию» металла шва и околошовной зоны, — это способствует переходу графита в химическое соединение с железом — цементит, плохо поддающийся механической обработке.

Отсутствие периода пластического состояния и высокая хрупкость приводят к образованию неравномерного

нагрева и охлаждения, а также неравномерной усадки металла к образованию больших внутренних напряжений и трещин как в самом сварном шве, так и в околошовной зоне, темп температура плавления, непосредственный переход чугуна из твердой фазы в жидкую, и наоборот, затрудняют выход газов из металла шва, и шов получается пористым, высокая жидкотекучесть чугуна не позволяет производить сварку не только в вертикальном, но и в наклонном положении шва.

§ 53. Горячая сварка чугуна

Горячей сваркой чугуна принято называть сварку чугунных изделий с предварительным их нагревом. Предварительный нагрев уменьшает разность температур основного металла и металла в зоне соединения и тем самым снижает температурные напряжения при сварке. Вместе с этим снижается скорость охлаждения сплава после сварки, что способствует предупреждению отбела и получению шва хорошего качества.

Подготовка к сварке состоит из вскрытия, вырубки, зачистки и разделения шва или дефектного места. Вскрытие и зачистку выполняют механическим путем — вырубкой или сверлением. Разделка трещин — V- или U образной формы. Разделка дефектного участка должна иметь плавные округленные формы. Для предупреждения вытекания металла и придания шву нужного очертания вокруг разделки выкладывают форму из плотно прилегающих к изделию и друг к другу графитовых или угольных пластин. Применяют также кварцевый песок, замешанный на жидком стекле (100-150 г. на 1 кг песка) и просушенный при температуре 40-60 °С. При сварке излома необходимо применять приспособления, фиксирующие относительное расположение свариваемых частей и обеспечивающие точность сварки.

В зависимости от назначения и конфигурации детали, характеры дефекта и марки чугуна применяют

общий или местный подогрев. При массовом производстве для общего подогрева деталей и последующего их охлаждения после сварки применяют методические печи конвейерного типа. Для подогрева отдельных крупных деталей применяют нагревательные колодцы или ямы, выложенные огнеупорным кирпичом. Для местного подогрева зоны соединения (полугорячая сварка) используют горны, газовые и сварочные горелки, индукционные нагреватели и др. Температура нагрева должна быть в пределах 400...700 °С. Подогрев должен производиться медленно и равномерно, чтобы не вызвать в детали больших внутренних напряжений и трещин.

Для сварки чугунов по ГОСТ 2671—80 рекомендуется применять чугунные прутки следующих ма-

Диаметр	4	6	8	10	12	14	16
Длина	250	350	450	450	50	600	700

В практике при сварке применяют различные графитизирующие покрытия, содержащие графит, ферросилиций, мрамор, титановую руду, замешанные на жидком стекле. В покрытие иногда вводят термит. Это способствует медленному остыванию металла шва. Толщина покрытия — 1,5...2,0 мм. Сварку выполняют постоянным током прямой полярности, однако можно сваривать и переменным током. При толщине металла до 20 мм сварку производят электродами диаметром 6 мм; при толщине 20...40 мм применяют электроды диаметром 8 мм, а при толщине свыше 40 мм можно рекомендовать электроды диаметром 10 мм. Сварочный ток определяют из расчета 50...60 А на 1 мм диаметра электрода.

Сварку можно выполнять угольными электродами диаметром 6...12 мм в зависимости от толщины свариваемой детали. Сварочный ток составляет 200...450 А. Присадочным материалом служат чугунные прутки ПЧ 1, ПЧ 2, ПЧ 3 и ПЧВ, а флюсом — бура или смесь буры (50%) и соды

рок: ПЧ 1 и ПЧ 2 — для газовой сварки серого чугуна с перлитной и перлитно-ферритной основой; ПЧ 3 — для газовой сварки серого чугуна с ферритной структурой; ПЧН 1 и ПЧН 2 — для пайкосварки; ПЧИ — для износостойкой наплавки; ПЧВ — для газовой сварки высокопрочных чугунов с шаровидным графитом.

Для изготовления электродов применяют прутки ПЧ 1, ПЧ 2, ПЧ 3 и ПЧВ, имеющие согласно ГОСТ 2671—80 покрытие толщиной 1...1,5 мм, состоящее из графита серебристого (25%), плавикового шпата (30%), карбида кремния (40%) и алюминиевого порошка (5%), замешанных на жидком стекле (60% от сухих компонентов). Прутки изготавливают следующих размеров, мм:

(50%); ток — постоянный прямой полярности или переменный.

Важным условием качественной сварки является поддержание ванны наплавляемого металла в жидком состоянии в течение всего периода сварки. Для этого весь объем сварочных работ выполняют без прерыва процесса сварки. После окончания сварки деталь подвергают медленному охлаждению. Для этого заваренные участки засыпают слоем мелкого древесного угля и накрывают асбестом, что предупреждает отбел чугуна и исключает возникновение больших внутренних напряжений и трещин. Затем изделие очищают и контролируют качество сварки.

Сварка с предварительным нагревом является самым надежным способом предупреждения дефектов чугунных изделий любого размера и конфигурации. При точном соблюдении технологического процесса сварки можно получить плотный и прочный шов, хорошо поддающийся механической обработке и по своим механическим свойствам не уступающий основному металлу.

§ 54. Холодная сварка чугуна

Холодной сваркой чугуна принято называть сварку без предварительного нагрева. Ее применяют тогда, когда трудно или экономически нецелесообразно производить сварку с предварительным нагревом из-за больших габаритов изделия, опасности коробления и возникновения больших внутренних напряжений. В практике применяют различные способы холодной сварки чугуна.

Сварка чугунами электродами, изготавливаемыми по ГОСТ 2671—80.

Толщина металла, мм . . .	< 20	20...40	> 40
Диаметр электрода, мм . . .	6	8	10
Сварочный ток, А	280...320	350...450	450...550

Хорошие результаты при холодной сварке дают электроды из аустенитных высоколегированных чугунов (ни-

Для уменьшения скорости охлаждения расплавленного металла применяют те же покрытия, что и при горячей сварке чугуна. Чугунные электроды без покрытия не применяют, так как при сварке они плавятся раньше и быстрее, чем основной металл. Наплавляемый металл, стекая на слабо нагретую поверхность изделия, не сплавляется с основным металлом и, быстро остывая, дает твердый и хрупкий отбеленный чугун. Рекомендуются следующие режимы сварки:

келевых, никелькремнистых) с содержанием (%):

	C	Ni	Si	Cu	Mn	P
Никелевый (нирезист)	2,04	28,97	1,31	7,62	0,46	0,038
Никелькремнистый (никросилаль)	2,17...2,33	19...22	5,25...6,4	—	0,54	—

Никель, не вступая в реакцию с углеродом, хорошо сплавляется с железом и как графитизатор препятствует отбеливанию чугуна. Электродные стержни имеют покрытие, состоящее из 70% карборунда и 30% углекислого стронция или углекислого бария, замешанных на жидком стекле (30 г на 100 г сухой смеси). Толщина покрытия — 0,6...0,8 мм. Электроды из никелевых чугунов применяют при сварке и наплавке поверхностей, подлежащих последующей механической обработке. Качество шва невысокое ввиду склонности металла шва к образованию трещин.

Сварку можно производить способом, предложенным Ростовским институтом инженеров железнодорожного транспорта — чугунными электродами с меловым покрытием по слою гранулированной графитизирующей шихты. Электродные стержни диаметром 7...8 мм изготавливают из чугуна, содержащего 3...3,2% углерода, 2,6...3% кремния, 0,5...0,8% марганца, не более 0,5% фосфора и 0,08% се-

ры. Шихта содержит 30% чугунной стружки, 28% ферросилиция (75%-ного), 30% алюминия и 12% силикокальция. Ферросилиций прокаливают в электропечи при температуре 750...800 °С. Компоненты шихты, имеющие грануляцию 1...3 мм, хорошо перемешивают на жидком стекле и брикетируют. Брикеты прокаливают в печи при температуре 250...300 °С и затем дробят до грануляции 0,5...3 мм. При сварке шихту насыпают в разделку шва, а при наплавке поверхность детали покрывают слоем шихты толщиной 4...6 мм. Возбуждение и обрыв дуги производят без вывода электрода из шихты, чтобы не допустить отбеливания чугуна.

Сварка стальными электродами. Большая разница в усадке чугуна и стали не позволяет получить прочное сцепление между наплавленным и основным металлом при сварке стальными электродами. Поэтому таким способом сваривают швы, не работающие на растяжение или слабонагруженные. Для повышения стойкости и снижения твердости

уменьшают долю основного металла в металле шва, уменьшая глубину проплавления. Для этого сварку выполняют при малых сварочных токах электродами малого диаметра.

Для того чтобы металл в зоне сварного шва имел структуру серого чугуна, применяют электродные стержни из низкоуглеродистой стали, с толстым графитизирующим покрытием, состоящим из 33% ферросилиция, 37% графита, 7% мела и 23% натриевого жидкого стекла. Однако полная графитизация происходит лишь при большом объеме наплавленного металла и при заварке крупных деталей, когда достигается малая скорость охлаждения металла шва.

Для усиления связи металла шва с основным металлом применяют сварку стальными электродами с постановкой шпилек (ввертышей). Завариваемый шов тщательно очищают от грязи и масла и разделяют в зависимости от толщины металла и назначения шва V- или X-образной разделкой. На обработанную поверхность ставят стальные шпильки диаметром 6...12 мм в шахматном порядке на расстоянии друг от друга, равном 4...6 диаметрам шпилек. Иногда для усиления связи применяют стальные соединительные планки, ребра, косынки. Заварку шва начинают с обварки шпилек кольцевыми валиками, а затем накладывают круговые швы и окончательно заполняют завариваемый шов металлом. Сварку следует производить короткими участками (40...60 мм) вразброс, с перерывами, чтобы не допустить нагрева детали выше 60...80 °С. Сварочный ток составляет 30...40 А на 1 мм диаметра электрода. Диаметр электродов 3...4 мм с покрытием типа УОНИ-13. Ток — постоянный обратной полярности. В целях повышения графитизирующего действия покрытия Я. Я. Синюк предложил производить сварку пучком электродов малого диаметра. Такой прием обеспечивает более полное взаимодействие капель наплавленного металла с покрытием и хорошую графитизацию металла шва.

В зависимости от толщины свариваемого металла пучок электродов составляется из 5...20 стержней диаметром 1...2 мм. Ток должен быть 10...12 А на 1 мм сечения пучка электродов. Покрытие состоит из 40% графита и 60% ферросилиция, замешанных на жидком стекле (30% к массе сухих компонентов).

Сварка электродами из цветных металлов и сплавов. Наибольшее применение получили электроды из меди и ее сплавов. Медь, обладая графитизирующей способностью, снижает общую твердость металла и уменьшает отбел чугуна. Хорошие результаты дают электроды марки МНЧ с покрытием основного типа. Стержень электрода изготавливают из проволоки НМЖМц-28-2,5-1,5 (монельметалл) (ГОСТ 492—73), а покрытие состоит из смеси 55...60% мела и 40...45% графита. Применяют также покрытие, содержащее 45% графита, 15% кремнезема, 20% огнеупорной глины, 10% соды и 10% древесной золы. Сварку выполняют постоянным током обратной полярности. Рекомендуются электроды диаметром 3 мм при сварочном токе 90...120 А. Сварку ведут короткой дугой небольшими участками (20...25 мм). После сварки производят проковку металла шва.

Комбинированные электроды для холодной сварки чугуна состоят из меди и железа. Применяют следующие сочетания: а) стержень из меди марки М1, железо вводят в покрытие электрода в виде железного порошка; б) медный стержень покрывают тонкой оболочкой из жести толщиной 0,3 мм (навиваемой в виде ленты шириной 6...7 мм или надеваемой в виде трубки); в) стержень из низкоуглеродистой стали покрывают оболочкой из тонкой медной ленты или медной трубкой или применяют электролитическое покрытие медью толщиной 0,7...1,0 мм; г) пучок электродов составляют из одного стального электрода с покрытием УОНИ-13 и нескольких тонких медных стержней. Большое применение получили электроды

Электроды	Стержень	Состав покрытия, %						
		мрамор	плавиковый шпат	кварцевый песок	ферромарганец	ферросилиций	ферротитан	железный порошок
ОЗЧ-1	Медный (М1)	27	7	4,5	2,5	2,5	6,5	50
АНЧ-1	Стальной – Св-04Х19Н9 с медной оболочкой	40	30	17	5	8	—	—

ОЗЧ-1 и АНЧ-1, состав которых (в %) дан в табл. 19. Сварка производится постоянным током обратной полярности. Сварочный ток определяют из расчета 30...40 А на 1 мм диаметра электрода.

Газовая сварка чугуна широко применяется как удобный и сравнительно простой способ. Сварку выполняют с предварительным местным или общим нагревом. Скос кромок делают односторонний V-образный с углом разделки 90°. Присадочным материалом служат чугунные прутки диаметром 6...12 мм и длиной 350...500 мм марок ПЧ 1, ПЧ 2, ПЧ 3 и ПЧВ. Флюс ФСЧ-1 (23% прокаленной буры, 27% безводного углекислого натрия и 50% азотнокислого натрия) в порошкообразном виде периодически подсыпают в расплавленный металл шва. В процессе сварки прутки погружают во флюс и переносят его в сварочную ванну. Допускается также применять в качестве флюса только прокаленную буру. Удельная мощность пламени должна составлять 100...120 л/(ч·мм). Пламя должно быть нейтральным или с небольшим избытком ацетилена. Можно производить сварку двумя горелками: одной подогревают сварочную ванну, второй производят сварку и расплавление присадочного прутка. После сварки необходимо обеспечить медленное охлаждение изделия. Для этого его покрывают асбестом или слоем песка. Рекомендуются произвести отжиг заваренных деталей и охлаждение вместе с печью.

На практике применяют разработанную ВНИИавтогенмашем низко-

температурную сварку чугуна, сущность которой заключается в том, что свариваемые кромки изделия нагревают не до расплавления, а до 800...850 °С. В разделку кромок вводят флюс, а затем наплавляют металл. Присадочными стержнями служат прутки марок ПНЧ 1 или ПНЧ 2, покрытые флюсом. Флюсы пасты содержат 5% двуокиси титана, 10% азотнокислого калия, 12% фтористого натрия, 40% плавенной буры, 11% ферротитана, 15% углекислого лития, 7% железного порошка и 7 мас. ч. керосина на 50 ч. сухой смеси. Допускается применение флюса ФСЧ-1 при использовании прутков ПНЧ 1 и флюса ФСЧ-2 (18% буры, 25% кальцинированной соды, 56,5% натриевой селитры, 0,5% углекислого лития) при сварке прутками ПНЧ 2. Место сварки тщательно очищают, после чего изделие подвергают местному или общему нагреву до 300...400 °С восстановительным пламенем горелки. Свариваемые кромки покрывают слоем пасты и нагревают нормальным пламенем горелки до температуры 750...790 °С. Паста плавится и покрывает тонким слоем поверхность кромок. Сварку ведут справа налево. После заварки сварное соединение подвергают медленному охлаждению. Шов получается плотным и хорошо поддается механической обработке. Применяют также низкотемпературную пайкосварку латунными припоями. Кромки подготавливают механической обработкой и очищают от жировых пятен протиркой растворителем (бензин, ацетон и др.). После предварительного нагрева до

300...400 °С на кромки наносят флюс марки ФПСН-1, содержащий 25% углекислого лития, 25% кальцинированной соды, 50% борной кислоты. Процесс пайкосварки ведут нормальным пламенем. Используют припой марки

ЛОК-59-1-0,3. Пламенем горелки расплавляют конец прутка припоя и заполняют разделку шва припоем. После затвердевания металла производят проковку шва медным молотком.

ГЛАВА 19

НАПЛАВОЧНЫЕ РАБОТЫ

§ 55. Виды наплавочных работ

Наплавкой называется процесс нанесения с помощью сварки на поверхность детали слоя металла для восстановления ее первоначальных размеров (при износе после эксплуатации) либо для придания этой поверхности специальных свойств (износостойкости, антикоррозионности, антифрикционности и др.).

Для получения заданных свойств наплавленного слоя применяют легирование присадочным металлом в процессе наплавки или чаще всего используют специальные наплавочные электроды. Применяют следующие виды наплавки.

Ручная дуговая наплавка выполняется покрытым плавящимся или неплавящимся электродом. Плавящиеся наплавочные электроды применяются в соответствии с назначением каждого типа и марки. Неплавящиеся электроды применяют при наплавке на поверхность детали порошковых смесей. Применяются электроды из литых твердых сплавов и в виде трубки, заполненной легирующей порошкообразной смесью. Ручная наплавка малопроизводительна и трудоемка, поэтому применяется при наплавке деталей сложной конфигурации.

Автоматическая и полуавтоматическая наплавка под флюсом производится проволокой сплошного сечения, ленточным электродом или порошковой проволокой. Легирование наплавленного слоя осуществляют через электродную проволоку, легированный флюс (при проволоке из низкоуглеродистой стали) или совместно через проволоку и флюс. Иногда в зону дуги вводят ле-

гирующие вещества в виде пасты или порошка.

Наплавка плавящимся или неплавящимся электродом в защитном газе (чаще всего в аргоне или углекислом газе). Плавящуюся наплавочную проволоку выбирают, исходя из необходимости получить наплавленный слой с соответствующими свойствами. В качестве неплавящегося электрода используют стержни из вольфрама.

Плазменная наплавка осуществляется плазменной струей прямого действия с подачей в струю наплавочной проволоки, токоведущей присадочной проволоки или присадочного порошка.

Вибродуговая наплавка выполняется автоматической головкой, обеспечивающей вибрацию и подачу электродной проволоки в зону дуги. При вибрации электрода происходит чередование короткого замыкания сварочной цепи и разрыва цепи (паузы). В зону наплавки подается охлаждающая жидкость. Она защищает наплавленный металл от воздействия воздуха и, охлаждая деталь, способствует уменьшению зоны термического влияния, снижению сварочных деформаций и повышению твердости наплавленного слоя. В качестве охлаждающей жидкости применяют водные растворы солей, например кальцинированной соды, содержащие ионизирующие вещества, облегчающие возбуждение дуги после паузы. Способ нашел большое применение для наплавки на изношенные поверхности деталей слоя небольшой толщины (до 1 мм).

Электрошлаковая наплавка характеризуется высокой производи-

тельностью. Способ позволяет получать наплавленный слой любого заданного состава на плоских поверхностях и на поверхностях вращения (наружных и внутренних). Наплавка выполняется за один проход независимо от толщины наплавляемого слоя.

Газовая наплавка имеет ограниченное применение, так как при этом возникают большие остаточные напряжения и деформации в наплавляемых деталях. Для наплавки применяются литые твердые сплавы.

Для ручной дуговой наплавки применяют электроды, предусмотренные ГОСТ 10051-75. Электроды обозначаются буквой Э и затем указывается примерный химический состав стержня электрода. Например, электрод Э-35Г6 содержит 0,35% углерода и ~6% марганца. Полное условное обозначение электрода, указываемое на этикетке, содержит основные данные, определяющие его применение. Например,

Э-12Г4—ОЗН-350У—5,0—НД1

Е—350/37—1—Б40

ГОСТ 9466—75, ГОСТ 10051—75

означает: электрод типа Э-12Г4 по ГОСТ 10051—75, марки ОЗН-350У диаметром 5,0 мм для наплавки (Н), с толстым покрытием (Д), 1-й группы по качеству, обеспечивает твердость наплавленного слоя 350/37 (по Виккерсу /по Роквеллу) без последующей обработки (1). Электрод имеет основное покрытие

(Б) для наплавки в нижнем положении (4) на постоянном токе обратной полярности (0). В технической документации указывается только марка электрода, диаметр стержня, группа по качеству и ГОСТ 9466-75. Например, ОЗН-350У — 5,0 — 1 ГОСТ 9466 — 75. Большое применение получили наплавочные электроды марки ОЗН-250У, ОЗН-300У, ОЗН-350У и ОЗН-400У (типы соответственно Э-10Г2, Э-11Г3, Э-12Г4 и Э-15Г5), обеспечивающие получение наплавленного слоя твердостью HRC 20...44. Они применяются при восстановлении быстроизнашивающихся поверхностей деталей из углеродистых и низколегированных сталей, подвергающихся ударным нагрузкам.

Для наплавки деталей экскаваторов, землеройных машин, работающих при ударных нагрузках, применяют электроды марки 12АН/ЛИВТ типа Э-95Х7Г5С, дающие наплавляемый слой твердостью до HRC 32. Наплавку поверхностей стальных и чугунных деталей, подверженных абразивному износу без ударной нагрузки, производят электродами марки Т-590 типа Э-320Х25С2ГР. Детали, работающие в условиях сильного износа и при ударных нагрузках, рекомендуется наплавлять электродами марки Т-620 типа Э-320Х23С2ГР диаметром 4...5 мм.

При наплавке угольным электродом используют порошковые смеси следующего состава (в %):

Порошковая смесь	Ферро-хром	Ферро-марганец	Железный порошок	Борид хрома	Карбид хрома	Нефтяной кокс	Твердость HRC
Сталинит	26,9	21,6	47,1	—	—	4,4	55
КБХ-45	50	—	40	5	5	—	56...58
БХ	—	—	50	50	—	—	60...62

Эти же смеси применяют для заполнения трубчатых электродов. При различных способах автоматической и полуавтоматической наплавки применяют наплавочную проволоку, изготовляемую по ГОСТ 10543—82. Наплавочная проволока маркируется буквами Нп и цифрами и буквами,

характеризующими ее химический состав; подбирается в зависимости от объекта наплавки и требуемой твердости наплавляемого слоя. Марки углеродистой наплавочной проволоки в зависимости от содержания углерода дают слой твердостью от НВ 160 (Нп-25) до НВ 340 (Нп-85). Про-

волокна легирующая и высоколегированная позволяет получать слой твердостью от HB 180 (Hп-40Г) до HRC 52 (Hп-40X13). Обычно наплавку производят под флюсом. Применяются флюсы, предусмотренные по ГОСТ 9087—81. Допускается производить наплавку рабочих поверхностей деталей строительных машин электродной проволокой Св-08 под легирующим флюсом. Применяют керамические флюсы серии КС, содержащие мрамор (40...44%), плавиковый шпат (6...10%), диоксид титана (до 6%), феррохром (до 25%), ферротитан (до 14%), кварцевый песок (до 5%) и графит (0,5...1,0%). Кроме того, автоматическую и полуавтоматическую наплавку производят наплавочной порошковой проволокой или лентой под слоем флюса АН-348-А, АН-20 (С, СП и П), АН-22, АН-60 и др. Порошковая проволока, как и лента, представляет собой стальную оболочку, наполненную запрессованной в ней шихтой, содержащей элементы, легирующие наплавляемый слой. Для наплавки деталей машин из углеродистой стали под флюсом АН-348-А применяют порошковую проволоку марок ПП-АН-120, ПП-АН-121 (твердость слоя HB 300...350) или ПП-АН-122 (HRC 50...56), для наплавки высокомарганцовистых сталей применяют проволоку ПП-АН-105 (HRC 20...25), для наплавки высокохромистых сталей рекомендуют порошковую проволоку марок ПП-АН-170 и ПП-АН-171. Порошковые ленты марок ПЛ-АН-101, ПЛ-АН-102 и ПЛ-АН-112 применяют для наплавки под флюсом и открытой дугой. Твердость слоя достигает HRC 56.

§ 56. Технология наплавки

Технологический процесс наплавки начинается с подготовки детали, для этого ее тщательно очищают от грязи, масла, краски. Рекомендуется поверхности, подлежащие наплавке, обжигать газовыми горелками. Применяют также промывку горячим раствором щелочи с последующей промывкой горячей водой, очистку стальной

щеткой. Для предупреждения больших внутренних напряжений и образования трещин часто наплавляемые детали подогревают до температуры, зависящей от основного и наплавляемого металла. Технологические приемы и режимы наплавки зависят от формы и размеров деталей, а также от толщины и требуемых свойств наплавляемого слоя.

Большое значение для качества наплавляемого слоя имеют доли участия основного и присадочного металлов в формировании слоя. Доля участия основного металла зависит от способа наплавки и особенно от режима. Например, при наплавке под флюсом влияние режима на качество наплавляемого слоя больше, чем при ручной наплавке покрытыми электродами, что объясняется большим проплавлением основного металла. Преимуществом наплавки порошковой проволокой (или лентой) является меньшая плотность тока, что обеспечивает меньшую глубину проплавления основного металла и, как следствие, меньшее перемещение его с наплавляемым металлом.

При нанесении слоя в виде отдельных валиков должно быть обеспечено оптимальное перекрытие валиков: при ручной наплавке — на 0,30...0,35 ширины, а при автоматической и полуавтоматической на 0,4...0,5 ширины валика.

Ручную дуговую наплавку производят электродами диаметром стержня 4...5 мм. Сварочный ток составляет 160...250 А. Напряжение дуги — 22...26 В. Наплавку производят короткой дугой постоянным током обратной полярности. При наплавке (особенно электродами ОЗН) перегрев наплавляемого слоя не допускается. Для этого слой наплавляют отдельными валиками с полным последовательным охлаждением каждого валика.

Зернистые порошковые смеси наплавляют с помощью угольного электрода. На подготовленную поверхность насыпают тонкий слой флюса (прокаленной буры) толщиной 0,2...0,3 мм и слой порошковой смеси толщиной 3...7 мм, шириной не более

50 мм. При большей ширине наплавляют несколько полос. Слой разравнивают и слегка уплотняют. Наплавку производят плавными поперечными движениями угольного электрода вдоль наплавляемой поверхности. Скорость перемещения должна обеспечивать сплавление наплавляемого сплава с основным металлом. Ток постоянный, прямой полярности. При диаметре электрода 10...16 мм сварочный ток составляет 200...250 А при напряжении дуги 24...28 В. Длину дуги поддерживают в пределах 4...8 мм.

Автоматическая и полуавтоматическая наплавка выполняется наплавочной проволокой сплошного сечения диаметром 2...5 мм сварочным током 200...1000 А при напряжении дуги 28...45 В. При наплавке порошковой проволокой диаметром 2...3,6 мм применяют сварочные токи 150...400 А (напряжение дуги 22...32 В). Большие технические возможности и высокая производительность наплавки под флюсом позволяют применять ее при самых различных наплавочных работах. Восстановление и упрочнение плоских поверхностей производят наплавкой проволокой или лентой под флюсом. Наплавку цилиндрических поверхностей выполняют винтовой линией или кольцевыми валиками, при этом поверхности диаметром более 400 мм рекомендуется наплавлять электродной лентой, а также использовать многоэлектродные установки. Учитывая, что автоматическая однодуговая наплавка под флюсом ха-

рактеризуется более глубоким проплавлением основного металла, рекомендуется применять двухдуговую наплавку проволокой диаметром 1,6...2,0 мм. Хорошие результаты дает наплавка под флюсом ленточным электродом: коэффициент плавления выше на 25...30%, а глубина проплавления и доля основного металла в наплавленном слое уменьшаются почти вдвое. Плотность тока составляет 20...40 А/мм², а напряжение — 28...34 В.

При наплавке поверхностей сложной конфигурации важное значение имеет возможность наблюдения за процессом наплавки. В этих случаях рекомендуется производить наплавку в защитном газе или самозащитной проволокой открытой дугой. Цилиндрические поверхности малого диаметра целесообразно наплавлять вибродуговой установкой.

Если после наплавки деталь подлежит обработке резанием, то наплавлять следует ровную поверхность с минимальным припуском на обработку; твердость наплавленного слоя снижают отжигом. После обработки резанием твердость слоя повышают закалкой и последующим отпуском.

Контроль качества наплавки имеет назначение проверить наличие внешних и внутренних дефектов, твердость, однородность структуры, химический состав слоя и деформацию детали. Результаты контроля сравнивают с техническими требованиями.

ГЛАВА 20

СВАРКА ПОЛИМЕРОВ И ПЛАСТМАСС

§ 57. Основные виды полимеров и пластмасс

Полимеры и пластмассы, обладая целым рядом ценных свойств (достаточная прочность, антикоррозионность, стойкость против химически агрессивных сред, теплостойкость и др.), получают большое применение в самых различных отраслях народного хозяйства не только как заменители дефицитных металлов, но

и как основные конструкционные материалы.

Полимер — высокомолекулярное органическое соединение, характеризующееся многократным повторением одного или более составных звеньев (составное звено — группа атомов, с помощью которой описывают строение цепи макромолекулы). В зависимости от структуры и формы макромолекул различают термопластичные и термореактивные полимеры. Термо-

пластичные полимеры плавятся до вязкотекучего состояния без изменения структуры; они поддаются повторному нагреву и технологической обработке. Термореактивные полимеры при нагреве изменяют свою структуру, в результате исключается их повторное размягчение.

Полиэтилен — полимер этилена, термопластичен; изделия из него могут быть изготовлены литьем под давлением или центробежным, штамповкой при температуре 120...135 °С и прессованием. Он обладает высокой химической стойкостью к агрессивным средам и является хорошим диэлектриком. Применяется при изготовлении изоляции подводных, силовых и радиочастотных кабелей, а также оборудования химических производств: труб, емкостей, плит, фитингов, тонкостенных деталей и др.

Полистирол — полимер стирола, термопластичен, отличается очень хорошими диэлектрическими свойствами, прозрачен, водостоек, морозостоек. Недостатками полистирола являются низкая теплостойкость, горючесть и хрупкость. Полистирол служит материалом для изготовления радио- и электроаппаратуры, высокочастотных приборов и химической аппаратуры. Его применяют также для изготовления электроизоляционных пленок, нитей и упаковочной пленки.

Полиакрилат — полимер сложного эфира акриловой кислоты. Наибольшее применение получили листовые акриловые материалы (органическое стекло различных марок). Кроме того, выпускают заготовки в виде стержней, труб, листов и материалов для изготовления деталей прессованием или литьем под давлением.

Полиметилметакрилат (органическое стекло) — отличается высокой светопрозрачностью, удовлетворительными прочностью и твердостью. Важным свойством органического стекла является его способность пропускать ультрафиолетовые лучи. Следует также отметить хорошую обрабатываемость резанием, давлением, сваркой. Применяют органическое стекло для остекления, изготовления

различных изделий технического назначения.

Пластмасса представляет собой композицию полимера с различными ингредиентами: наполнителями, пластификаторами, стабилизаторами, красителями, отвердителями и др.

Фенопласты — пластмассы на основе фенольных смол. В зависимости от технологии изготовления могут быть термопластичными и термореактивными. В сочетании с различными наполнителями получают фенопласты общетехнического назначения, электроизоляционные, жаростойкие, волокнистые, фрикционные и др. В качестве наполнителей применяют порошкообразные, волокнистые и слоистые материалы. Детали из фенопластов изготавливаются методом горячего прессования при температуре 150...200 °С и давлении 15...120 МПа. При этом получают готовые изделия, не требующие механической обработки.

Из термореактивных фенопластов с порошкообразным наполнителем изготавливают различные детали радио- и электротехнических изделий, электронной аппаратуры. Из оролита (наполнитель — асбест, кварцевый песок или графит) изготавливают кислотостойкие трубы, ванны, детали коммуникаций. Для получения изделий общетехнического назначения в качестве наполнителя применяют древесную муку.

Из фенопластов с волокнистым наполнителем большое применение получили волокниты, текстолит-крошка и стекловолокнит. Они применяются для изготовления деталей, работающих на изгиб и кручение и требующих хороших механических и антифрикционных свойств (шестерни, втулки, ролики, кулачки, вкладыши подшипников и др.).

Из слоистых фенопластов в промышленности большое распространение получили текстолит (наполнитель — хлопчатобумажная ткань), ДСП — (наполнитель — древесный шпон) и гетинакс (наполнитель — сульфатная бумага). Эти пластмассы обладают большей прочностью, чем волокнистые. Особенно

высокой прочностью обладает текстолит. Его применяют для изготовления шестерен, подшипников, вкладышей и других нагруженных деталей. ДСП используют как конструкционный и антифрикционный материал. Гетинакс используют в качестве электроизоляционного материала.

Аминопласты — термореактивные пластмассы на основе аминосмол. Они бесцветны, прозрачны и могут быть окрашены в любые (особенно светлые) тона с помощью красителей. В качестве наполнителей применяют сульфидную целлюлозу, хлопковую целлюлозу, асбест, тальк и др. Изделия из аминопластов получают методами горячего и холодного прессования при различных режимах. Температура горячего прессования 135...145°C, давление 10,5...42 МПа, время выдержки 1 мин на 1 мм толщины изделия.

Аминопласты применяют главным образом для изготовления электроарматуры, радиодеталей, предметов широкого потребления (посуда, канцелярские и галантерейные товары и др.), а также для отделки магазинов, ателье, кают пароходов, железнодорожных вагонов.

Пластмассы на основе поливинилхлорида получают добавлением наполнителей, пластификаторов и красителей. Наполнители повышают механическую прочность пластика и снижают его стоимость. Для повышения гибкости и пластичности, а также хорошего смешения составляющих, в смесь вводят 30...60% пластификатора (дибутилфталата). Обработкой такой смеси на вальцах получают мягкий листовый материал толщиной от 0,1 до нескольких миллиметров. Пластик используют как футеровочный и электроизоляционный материалы, а также для изготовления труб с толщиной стенки 0,3...10 мм. В строительстве поливинилхлорид идет для производства полихлорвинилового линолеума, полихлорвиниловой пленки и др.

Винипласт — жесткий материал, получаемый путем обработки непластифицированного поливинилхлорида

со стабилизаторами и смазывающими веществами при температуре 160...180 °C; обладает большой прочностью, твердостью, хорошими диэлектрическими свойствами и высокой химической стойкостью. Винипласт легко поддается обработке резанием, сварке, склеиванию; получил большое применение в различных отраслях народного хозяйства, особенно в химической промышленности. Из винипласта изготовляют трубы, вентили, краны, фитинги. Винипластовые пленки применяют для футеровки химической аппаратуры, электролизных ванн и др.

§ 58. Способы сварки

Сварка полимеров и пластмасс заключается в нагреве свариваемых кромок до пластического вязкотекучего состояния и соединения их под некоторым давлением. Применяются следующие способы сварки:

Сварка нагретым газом (рис. 110). Свариваемые кромки детали 4 и присадочный материал нагревают до температуры сварки струей горячего воздуха или газа. Для нагрева воздуха (газа) используют электронагреватели или газовые горелки 1. Присадочный пруток 2 вдавливают в разделку шва 5; нагретые слои материала слипаются и присадочный пруток образует сварной шов 3. При сварке толстого материала в разделку шва последовательно укладывают несколько нагретых присадочных прутков, как показано на рис. 111.

Сварку без скоса кромок применяют для соединения листов толщиной менее 4 мм. При большей толщине применяют V- и X-образные разделки шва под углом 60°. При этом X-образные швы более прочны. В процессе сварки по мере размягчения поверхностей свариваемых кромок и присадочного прутка необходимо непрерывно вжимать пруток в основание разделки под небольшим, но постоянным давлением. Для получения полного провара необходимо у корня шва оставить зазор 0,4...0,5 мм. При сварке мягких термопластов (полиэтилен и др.) присадочный пруток

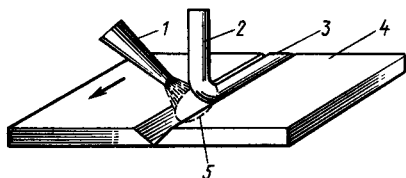


Рис. 110

вводят под тупым углом, чтобы обеспечить достаточное давление на свариваемые кромки. При сварке жестких термопластов (винипласт, органическое стекло и др.) прутки вводят в разделку шва почти под углом 90° к шву.

Полиэтилен и полистирол при сварке нагревают горячим газом или воздухом до температуры не выше $160...180^\circ$. Органическое стекло рекомендуют сваривать струей воздуха, нагретого до $200...220^\circ\text{C}$. Присадочным материалом служат прутки сечением $7...12\text{ мм}^2$. Допускается использование сварочных прутков из винипласта диаметром $3,0...5,0\text{ мм}$. Винипласт сваривают в размягченном (вязкотекучем) состоянии при температуре $220...240^\circ\text{C}$. Присадочным материалом служат сварочные прутки диаметром до 5 мм из пластифицированного винипласта. Процесс сварки осуществляется путем размягчения прутков и сцепления их с основным материалом.

Для сварки материалов толщиной $2...25\text{ мм}$ этим способом применяют горелки ГПП-1-66. Теплоносителем яв-

ляется воздух в смеси с продуктами сгорания пропан-бутановой смеси. Масса горелки — $0,6\text{ кг}$. Горелка ГЭП-1А-67 работает с электроподогревом теплоносителя — газа (воздуха, азота и др.). Для этого на пути движения газа в корпусе горелки установлена электроспираль. Масса горелки — $0,68\text{ кг}$. Простота оборудования и технологии позволяет применять этот способ для сварки деталей любых размеров и конфигурации.

Следует учесть, что полимеры и пластмассы имеют высокий коэффициент температурного расширения (в $4...6$ раз больше металлов). Это вызывает опасность возникновения больших внутренних напряжений в сварном шве, ослабляющих сварное соединение и вызывающих коробление свариваемых деталей. Для получения хорошего сварного шва рекомендуется применять струю нагретого газа небольшого сечения (диаметр струи $3...5\text{ мм}$), а также различные фиксирующие приспособления.

Сварка контактным нагревом. При этом способе свариваемые поверхности нагревают с помощью электронагревателя; доводят их до вязкотекучего состояния; затем нагревательный элемент удаляют, а свариваемые поверхности соединяют сдавливанием. Пленки соединяют внахлестку, при этом электронагревателем может служить электроутюг или специальное устройство с роликом или валиком. Этим способом сваривают пленки толщиной не более 2 мм , так как низкая теплопроводность затрудняет нагрев пластмасс до нужной температуры.

Этот способ сварки годен как для мягких, так и для жестких полимеров и пластмасс. Однако он требует больших затрат времени на нагрев, регулировку температуры и охлаждение шва (под давлением) после сварки.

Сварка токами высокой частоты. Свариваемые детали нагревают в высокочастотном электрическом поле. После разогрева кромок до пластического состояния их сдавливают для

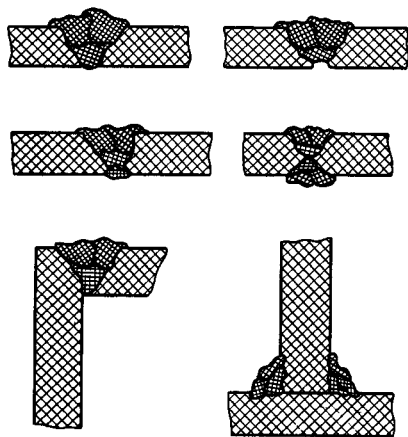


Рис. 111

получения прочного соединения. Этот способ очень экономичен и широко распространен в промышленности. Наибольшее применение получила сварка высокочастотным током изделий из поливинилхлоридных пластмасс. Например, для сварки винипласта применяют токи частотой 60...75 МГц. Толщина свариваемого материала 0,5...2 мм; при меньшей толщине непроизводительно расходуется теплота прижимающих электродов. Производительность сварки в 5...10 раз выше рассмотренных ранее способов.

Для шовной сварки пленок и лент применяют сварочные машины ЛГС-02, МСТ-3М и др. Свариваемый материал прокатывают между двумя вращающимися роликами-электродами, к которым подключен высокочастотный ток. Сварка обеспечивает получение непрерывного, прочного и герметичного шва.

Нахлесточные соединения можно сваривать без скоса и со скосом кромок под углом 45° . Ширина шва 2...4 мм. Скорость сварки достигает 3 м/мин.

Сварка трением. Свариваемые кромки деталей нагревают до пластического состояния теплотой, выделяющейся при трении поверхностей этих кромок друг о друга. Для сварки одну часть детали закрепляют в патроне токарного или сверлильного станка и после вращения прижимают ко второй части детали, закрепленной неподвижно в специальном приспособлении. Поскольку термопласты имеют плохую теплопроводность, трущиеся поверхности быстро нагреваются. Давление сжатия в зависимости от материала составляет 0,2...1 МПа.

Такой способ сварки не требует подготовки поверхности, так как пленка и грязь вытесняются при сварке. Преимуществом этого способа является быстрота сварки. В зоне трения температура быстро повышается, обеспечивая моментальную сварку, в то время как температура материала около зоны сварки почти не изменяется. Однако этим способом можно сваривать только детали типа тел

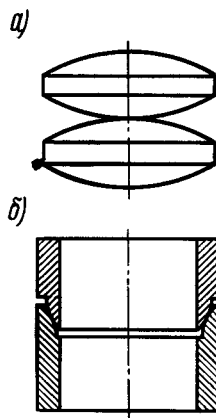


Рис. 112

вращения. Кроме того, необходимость обеспечения давления для сварки делает этот способ применимым лишь для жестких термопластов. На рис. 112 показаны примеры сварных соединений из сплошного (а) и полого (б) материалов.

Сварка ультразвуком. Ультразвуковая сварка является наиболее универсальным и перспективным способом сварки полимеров и пластмасс благодаря своим широким технологическим возможностям. Локальное выделение теплоты в зоне сварки и нагрев до температуры, близкой к температуре плавления, исключают перегрев материала, наблюдаемый при других способах. Конструкция рабочего инструмента (волновода) допускает сварку в труднодоступных местах, а также позволяет получать точечные, прямолинейные и замкнутые швы различного контура (в зависимости от конфигурации рабочей части волновода). Сварка производится на частотах 17...45 кГц. Электрические колебания, вырабатываемые генератором с помощью преобразователя (магнито-стрикционного или пьезоэлектрического), преобразуются в механические колебания рабочего инструмента (волновода). Возникающие в материале высокочастотные механические колебания преобразуются в теплоту, идущую на нагрев и сварку материала.

В промышленности применяют установку для полуавтоматической

сварки УПШ-12 (с генератором ГУФ-28/40 мощностью 40 Вт, предназначенную для сварки синтетических тканей толщиной 0...1 мм),

аппараты типа УЗАП и др. Для ручной сварки получили распространение аппараты РУСУ-28 и РУСУ-50.

ГЛАВА 21 СВАРКА ТРУБОПРОВОДОВ

§ 59. Номенклатура и сортамент труб и фасонных частей

В зависимости от назначения и условий работы к трубам и их соединениям предъявляют определенные требования, установленные стандартами или техническими условиями. Промышленность выпускает сварные (шовные) и цельнокатаные (бесшовные) трубы. При этом производство сварных труб как наиболее производительное и экономичное непрерывно возрастает.

Сварные трубы, применяемые при прокладке магистральных и производственных технологических трубопроводов, изготавливают с наружным диаметром 4...1620 мм при толщине стенки 0,3...25 мм. Сварные трубы выпускают с прямым продольным сварным швом или со спиральным. Трубы с прямым продольным швом изготавливают из листовой стали. Горячекатаные листы правят в валковых правильных машинах. Затем на дробеструйных установках зачищают свариваемые кромки от ржавчины и окалина на ширину 30...50 мм. Разделку кромок под сварку производят на кромкострогальных станках. При этом скашивают кромки так, чтобы после формовки образовался угол разделки в пределах 30...60°С в зависимости от толщины заготовки. При двустороннем сварном шве угол внутренней разделки несколько больше угла наружной разделки, а пригибание кромок составляет 3...5 мм.

Формовку листов под сварку производят на листозагибочных вальцах или прессах. Затем заготовку подают к сварочному стану. Сварку можно производить либо автоматической сваркой под флюсом, либо контактной сваркой сопротивлением или оплавлением. При сварке тонкостенных труб

часто применяют прессовую сварку с индукционным нагревом свариваемых кромок заготовки.

Трубы со спирально-сварным швом изготавливают из узкого листа. Преимущества спирально-сварных труб: высокие механические свойства, позволяющие использовать более тонкие листы, низкая себестоимость; экономия металла по сравнению с прямошовными трубами составляет 30...35%.

Для магистральных трубопроводов, работающих под давлением до 2,5 МПа, трубы изготавливают из мартевских сталей МСт2, МСт3 и МСт4. Для магистральных газовых и нефтяных трубопроводов применяют трубы из низколегированных сталей марок 14ГН, 14ХГН, 14ХГС, 15ХГН, 19Г и МК. Эти стали обладают пределом прочности до 500 МПа при относительном удлинении 18...20% и ударной вязкости при 40°С до 300 кДж/м². Сортаментом предусмотрены наружные диаметры труб 426...1620 мм и толщина стенки 5...14 мм.

Цельнокатаные трубы также изготавливают из низкоуглеродистой мартевской стали марок МСт3 и МСт4 с пределом прочности 350...550 МПа и относительным удлинением 20...25%. Сортаментом предусмотрены наружные диаметры—114...426 мм и толщина стенки —4,5...20 мм.

Магистральные трубопроводы нефтяных заводов, работающие при высоких и низких температурах, а также трубопроводы для транспортирования жидких и газовых агрессивных веществ монтируют из цельнокатаных труб, изготовленных из легированных жаропрочных и нержавеющей сталей. Для магистральных трубопроводов и трубопроводов нефтезаводов, предназначенных для сред, вызывающих коррозию, применяют трубы из алюминия

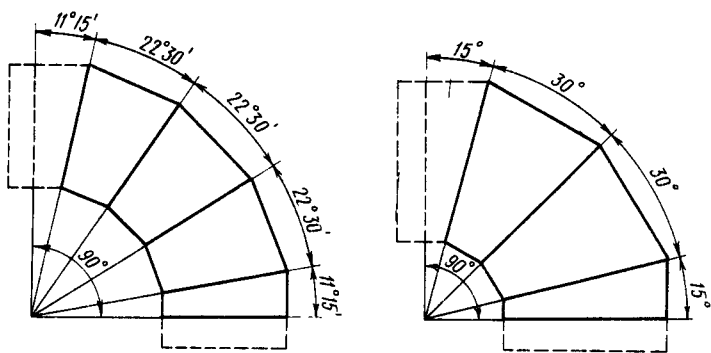


Рис. 113

и его сплавов. Для этих труб сортамент предусматривает наружные диаметры 120...280 мм и толщину стенки 10...30 мм.

Фасонные части—штампованные, гнутые или сварные—предназначены для сборки магистральных и особенно заводских производственных трубопроводов. Фасонные части применяют для углов поворота, участков ответвления, обвязки различных аппаратов, насосов других устройств. При монтаже труб диаметром до 529 мм применяют крутоизогнутые угольники, двойники, тройники и переходы, изготовляемые из стали 20 путем протяжки или штамповки. Для коррозионно-стойких трубопроводов фасонные части изготовляют из стали 12Х5МА и 12Х18Н9Т. Крутоизогнутые угольники выпускают с наружным диаметром 48...529 мм при толщине стенок 4,5...12 мм и среднем радиусе 80...500 мм. Большое применение получают сварные фасонные части. К качеству сварки предъявляют высокие требования, особенно при монтаже трубопроводов высокого давления. Сварные отводы чаще всего делают из нескольких частей (рис. 113). Для удобства монтажа концы труб, привариваемых к отводам, делают с косым срезом. Трубопроводы высокого давления (свыше 10 МПа) монтируют с помощью литых или кованых фасонных частей.

§ 60. Подготовка труб к сварке

При монтаже магистральных и производственных трубопроводов основным способом соединения труб

является сварка. При этом сварку трубопроводов, работающих при избыточном давлении более 0,07 МПа, производят с соблюдением правил госгортехнадзора. Согласно этим правилам к сварке трубопроводов допускаются сварщики, прошедшие специальную подготовку и имеющие соответствующие удостоверения. Сварку разрешается производить при температуре окружающего воздуха не ниже -20°C , так как при более низких температурах происходит интенсивное насыщение расплавленного металла шва газами (особенно кислородом и водородом). Это вызывает значительную пористость и снижает механическую стойкость сварного шва. Трубы из легированных сталей разрешается сваривать при температуре не ниже -10°C , так как эти стали склонны закаливаться на воздухе с образованием закалочных трещин, иногда выходящих за границы сварного шва. Рабочее место сварщика должно быть защищено от ветра, дождя и снега. На качество сварного соединения влияют подготовка кромок труб к сварке и качество сборки стыков. Основными типами сварных соединений труб являются V- или чашеобразное стыковое. Подготовка труб к сварке включает правку свариваемых концов, очистку кромок от грязи, масла и оксидов и сборку. Для правки свариваемых концов труб применяют различные приспособления механического, гидравлического и пневматического типов. Большое распространение получили расширители, состоящие из гидравлического домкрата с радиаль-

ными колодками, вставляемыми внутрь трубы. С помощью ручного насоса повышают давление в цилиндре домкрата, в результате чего колодки раздвигаются и, упираясь в стенки трубы, выпрямляют их. Максимальная сила давления 784 Н, время правки— 4...6 мин.

Кромки под сварку готовят на заводах-изготовителях труб (угол скоса 25...30°). При отсутствии скоса кромок необходимо снять фаску резцом или резаком-труборезом. В полевых условиях получили большое применение трубообрезные приспособления Киевского завода «Главгаз СССР».

Для кислородной резки с повышенной точностью стальных труб диаметром до 1620 мм Кировоканский завод автогенного машиностроения изготавливает машины «Орбита-2», «Спутник-3», которые позволяют резать трубы диаметром 194...1620 мм при толщине стенок 5...75 мм. Скорость резки 150... 750 мм/мин. Потребляемая мощность 100 Вт. Масса—20,8 кг.

Очистку свариваемых кромок производят следующим образом. Масло, праймер и органические покрытия удаляют бензином или специальным растворителем. От грязи и ржавчины кромки очищают с помощью стальных щеток или абразивных кругов.

Сборка стыков под сварку заключается в совмещении кромок труб таким образом, чтобы совпадали поверхности свариваемых труб и не была нарушена ось нитки трубопровода. Зазор между кромками должен быть одинаковый по всему контуру свариваемого шва. Сборка и центровка могут быть выполнены вручную, но такой способ очень трудоемкий и не дает требуемой точности; в практике применяют приспособления, называемые центраторами. Для сборки стыков магистральных труб большого диаметра применяют внутренние центраторы, которые базируют сборку по внутренней поверхности труб. Наружные центраторы базируют сборку по наружной поверхности труб и поэтому более просты по конструкции. Однако при большой разностенности труб и их эластичности наружный центратор не

обеспечивает должного качества сборки.

После сборки прихватывают стыки сварными швами длиной 60...80 мм с расстоянием между прихватами 300...400 мм при диаметре трубы более 300 мм. Прихватки выполняют аккуратно и такими же электродами, какими будет заварен стык; это обеспечивает однородность наплавленного металла и хорошее качество шва.

При сборке с внутренним центратором можно рекомендовать вместо прихватки сплошную заварку корня шва в виде первого слоя. Это особенно желательно при низких температурах окружающего воздуха, вызывающих большие внутренние напряжения и образование закалочных структур и трещин в металле шва.

§ 61. Способы и режимы сварки

Ручную дуговую сварку трубопроводов, несмотря на небольшую толщину соединяемых кромок, выполняют в 2...3 слоя. Многослойная сварка обеспечивает хороший провар корня шва и значительно повышает плотность сварного соединения. Ручную сварку производят с поворотом свариваемых стыков (сварка поворотных стыков) и без поворота стыков (сварка неповоротных стыков).

При сварке поворотных стыков первый слой должен быть наложен так, чтобы обеспечить хорошее проплавление и провар корня шва. Для уменьшения образования грат внутри стыка рекомендуется производить сварку в такой последовательности (рис.114): заваривают первым слоем участки от точки 1 до точки 2 и от точки 4 до точки 3 на всех стыках труб секции. Затем секцию поворачивают на 90° и производят заварку участков от точки 4 до точки 1 и от точки 3 до точки 2. Чтобы не допустить прожога металла, сварку первого слоя производят электродом диаметром 4 мм при сварочном токе 120...140 А. Хорошие результаты дают электроды с покрытием УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, СМ-11 и ВСЦ-1. Последующие слои наплавляют электродом диаметром

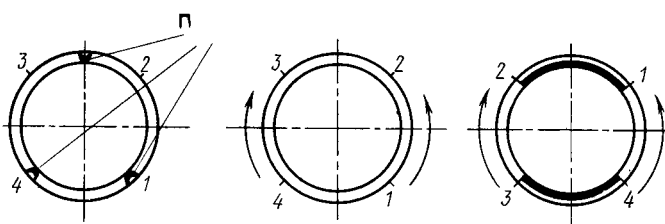


Рис. 114

5...6 мм при токе 200...250 А. Слои наваривают в одном направлении с постепенным поворачиванием свариваемой секции.

Сварку неповоротных стыков производят при соединении сваренных секций в одну плетть и окончательном монтаже трубопроводных линий. Порядок наложения сварных швов показан на рис. 115. Первый слой (внутренняя окружность—швы 1, 2, 3) заваривают снизу вверх, а последующие (наружная окружность—швы 1', 2', 3')—либо снизу вверх, либо сверху вниз (рис. 115, а) или как показано на рис. 115, б (швы 4, 5, 6, 7). Последовательность наложения сварных швов при соединении труб диаметром более 700 мм показана на рис. 115, в. При сварке особенно важно смещение замыкающих участков в смежных слоях шва (так называемых замков). Они должны отстоять друг от друга не менее чем на 60...100 мм, а в потолочной части шва удобнее заканчивать сварку на расстоянии 50...70 мм от нижней точки трубы. При невозможности выпол-

нить сварку неповоротных стыков потолочным швом применяют комбинированный способ (рис. 116) сварки стыка со вставкой 2, при котором нижнюю часть 1 шва заваривают с внутренней стороны, а затем заваривают верхнюю часть 3 шва с наружной стороны. Электроды применяют такие же, что и при сварке поворотных стыков. Однако соединение неповоротных стыков является особо ответственной сваркой и выполняется высококвалифицированными сварщиками. При прокладке магистральных трубопроводов ручную сварку применяют для наложения первого слоя шва. Последующий слой заваривают автоматической сваркой под флюсом.

Автоматическая сварка под флюсом дает более качественные швы при высокой производительности. Сварку можно выполнить за один проход. Однако неточности сборки, разностенность труб и разделки кромок не обеспечивают получения равнопрочного и плотного шва. Поэтому применяют двух- и трехслойную сварку. Если пер-

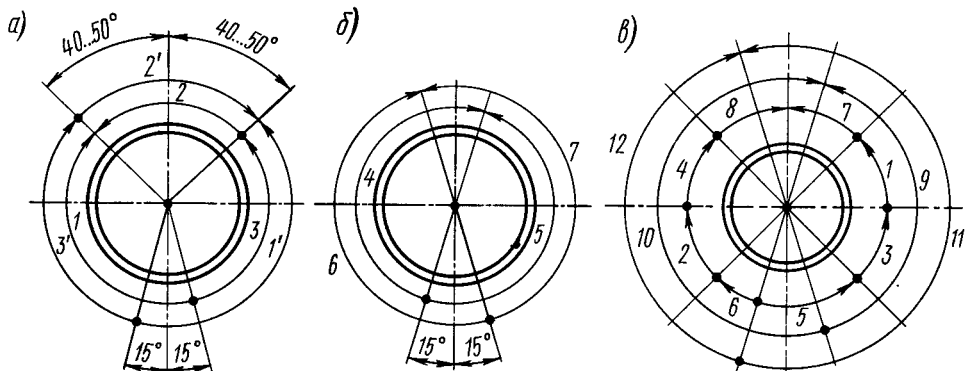


Рис. 115

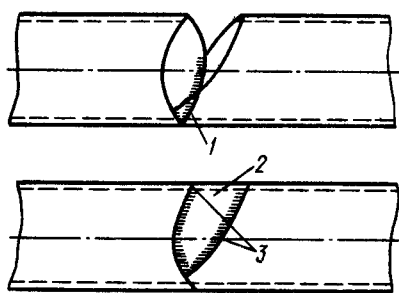


Рис. 116

вый слой заваривают ручной сваркой, то автоматическую сварку производят в один или два слоя. Чтобы предупредить протекание расплавленного металла внутрь трубы, сварку выполняют при наименьших зазорах—1...2 мм при толщине стенки труб 5...25 мм. Кроме того, первый слой следует наваривать так, чтобы получить плоскую или несколько вогнутую поверхность шва. Это обеспечивает лучший провар корня шва и более качественное формирование последующего слоя. Сварку выполняют электродной проволокой диаметром 2 мм при сварочном токе 300...500 А (в зависимости от толщины свариваемых кромок трубы). Для труб диаметром 1020 мм (толщина стенок 12 мм) применяют сварочную проволоку диаметром 3 мм при сварочном токе 800...950 А. Сварку производят трактором или сварочной головкой, а полуавтоматическую—сварочными полуавтоматами ПШ-5 или ПШ-54.

При сварке поворотных стыков труб большое применение получили сварочные установки ПТ-56 Киевского завода «Главгаз СССР» и ПТ-1000 (для труб большого диаметра). Они характеризуются следующими данными:

	ПТ-56	ПТ-1000
Диаметр электродной проволоки, мм	1,6...2	2...3
Скорость подачи проволоки, м/ч	100...500	165...615
Сварочный ток, А	до 600	до 1000
Масса, кг	34,5	27

Сварку стыков в потолочном положении выполняют с подачей флюса в зону дуги с помощью шнека. Такие

установки разработаны Всесоюзным научно-исследовательским институтом по строительству магистральных трубопроводов (ВНИИСТ). Для труб диаметром до 700 мм широкое применение получили автоматы АМД-3, имеющие пантограф, который в процессе сварки обеспечивает плотное прижатие сварочной головки к месту стыка. Копировальное устройство и ручной корректор позволяют регулировать положение головки относительно разделки кромок. Подача электродной проволоки и вращение шнека для флюса осуществляются двигателем постоянного тока типа СЛ-571 мощностью 95 Вт, напряжением 24 В и регулируются реостатом, установленным в шитке управления. Реостат включен в цепь обмотки возбуждения электродвигателя.

Дуговую сварку трубопроводов в защитном газе производят неплавящимися и плавящимися электродами в аргоне и углекислом газе. Сварку труб из жаропрочных и нержавеющей сталей неплавящимися электродами производят полуавтоматами ПШВ-1; сварку плавящимися электродами производят полуавтоматами типа ПШП. Сварку трубопроводов в углекислом газе осуществляют полуавтоматами А-547У.

ВНИИСТ разработал более совершенный полуавтомат ПТВ-1, состоящий из пистолета, кассеты и пульта управления. Подача электродной проволоки производится электродвигателем постоянного тока ЭДН-145Р мощностью 20 Вт через редуктор. Максимальная скорость подачи проволоки достигает 400 м/ч. Полуавтомат дает устойчивый процесс сварки при диаметре электродной проволоки 1,0...1,2 мм и сварочном токе 250 А. Аргонодуговую сварку поворотных стыков труб производят автоматами АГП-2. Автомат состоит из сварочной головки с электродвигателем постоянного тока и механизмом подачи электродной проволоки, пульта управления и газовой горелки. При диаметре проволоки 1,0...2,5 мм и скорости подачи 1,7...13 м/мин ток достигает 400 А. Для сварки неповоротных стыков

большое применение получили автоматы АТВ конструкции НИИТ, состоящие из сварочной головки и пульта управления. Автомат крепится на трубе с помощью центрирующей призмы и откидного зажима. Перемещение автомата вдоль свариваемого шва и подача электродной проволоки осуществляются электродвигателями постоянного тока. Управление автоматом дистанционное. Электродная проволока диаметром 2 мм подается со скоростью 10...40 м/ч. Максимальный сварочный ток достигает 250 А. При сварке труб из углеродистых и низколегированных сталей автомат снабжается горелкой с двойным кольцевым соплом: центральным для аргона и внешним для углекислого газа. Успешно применяется автомат АС-59 конструкции ВНИИСТ, смонтированный на самоходной тележке с механизмом для крепления и перемещения автомата в процессе сварки.

Свариваемый стык собирают при минимальных зазорах в пределах 0,5...1,0 мм. Тонкостенные трубы сваривают как правило, без разделки кромок. Кромки труб с большей толщиной стенки скашивают под углом 20...30°. Для сварки нержавеющей сталей применяется электродная проволока диаметром 0,8...1,2 мм марки Св-06Х19Н9Т. При сварке неплавящимся электродом присадочным материалом служит проволока Св-01Х19Н9, Св-04Х19Н9 и Св-07Х19Н10Б. Заварку первого слоя производят неплавящимся вольфрамовым электродом без присадочного металла, что обеспечивает хороший провар корня шва. Последующие слои заваривают вольфрамовым электродом с присадочной проволокой или плавящимся электродом. Струя газа должна быть спокойной и полностью охватывать зону сварки. При ветрах и сквозняках необходимо принять защитные меры (щиты, палатки и др.) и увеличить давление и скорость истечения газа.

Контактную сварку труб производят стыковой сваркой с помощью специального кольцевого трансформатора, разработанного Институтом элек-

тросварки им. Е. О. Патона. Магнитопровод трансформатора имеет вид кольца, охватывающего свариваемый стык по всей окружности. Первичная и вторичная обмотки смонтированы на магнитопроводе симметрично по всему периметру. Концы вторичной обмотки выведены на контактные башмаки, через которые сварочный ток подводится к концам свариваемых труб у их стыка. Такое устройство обеспечивает равномерное распределение тока по всему сечению стыкуемых поверхностей. Трансформатор имеет жесткую внешнюю характеристику. Поэтому при оплавлении свариваемых стыков, когда контактирующая поверхность увеличивается, ток возрастает. Это значительно ускоряет процесс сварки, уменьшает количество расплавленного металла, снижает величину грата. Необходимая мощность может быть определена из расчета $0,15...2 \text{ кВ} \cdot \text{А/см}^2$ площади сечения стыкуемых поверхностей.

Сварочный ток в зависимости от диаметра трубы выбирают в пределах 300...750 А. Скорость оплавления достигает 0,6 мм/с. Величина оплавления 20...25 мм. Сила сжатия зависит от давления масла в системе механизма осадки, которое устанавливается в пределах 4...4,5 МПа.

Сварка трубопроводов в условиях низких температур сопряжена со следующими трудностями. Большие скорости охлаждения и кристаллизации наплавляемого металла затрудняют выход газов и шлаковых включений на поверхность металла шва. Вследствие этого повышается хрупкость металла и склонность его к образованию закалочных структур и даже трещин, выходящих из околошовных зон в основной металл трубы.

Снижение пористости и хрупкости металла шва может быть достигнуто применением электродов марок УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, СМ-11, ВСЦ-1, которые даже при низких температурах дают вязкий и пластичный наплавляемый металл. Электроды перед применением должны быть тщательно просушены.

При автоматической сварке рекомендуется применять электродную проволоку, легированную марганцем и кремнием. Марганец и кремний, являясь хорошими раскислителями, способствуют снижению газонасыщенности металла. Флюс необходимо хорошо прокалить при температуре 250...300°C с последующим восстановлением грануляции. Можно рекомендовать керамический флюс, разработанный ВНИИСТ, марки КВС-19, позволяющий получать хорошие сварные швы при температуре до — 30°C.

Все работы, связанные с подготовкой и сборкой свариваемых труб, должны выполняться с особой осторожностью и точностью, чтобы не вызвать больших напряжений в сварных соединениях. Кромки труб тщательно

очищают от снега и льда. Стыки труб перед правкой нагревают до светло-красного каления. Сварку выполняют при минимально возможных зазорах, чтобы получить при наложении первого слоя хороший провар корня шва. Сварочный ток устанавливают на 10...20% выше нормального, что обеспечивает хороший провар металла и снижает скорость охлаждения шва. Вследствие этого снижается опасность трещинообразования. В ряде случаев для этих же целей применяют местный предварительный нагрев стыков труб до температуры 150...200°C. Трубы из низколегированных сталей 14ХГС, 14ГС, 19Г и МК сваривают при низких температурах удовлетворительно и получают швы хорошего качества.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРКИ. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

ГЛАВА 22 КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРКИ

§ 62 Основные дефекты сварных швов

Дефекты сварных швов являются следствием неправильного выбора или нарушения технологического процесса изготовления сварной конструкции, применения некачественных сварочных материалов и низкой квалификации сварщика.

Дефекты разделяются на внешние и внутренние. К внешним дефектам относятся: нарушение размеров и формы шва, непровар, подрез зоны сплавления, поверхностное окисление, прожог, наплыв, поверхностные поры, незаваренные кратеры и трещины продольные и поперечные. К внутренним дефектам относятся: внутренние поры, неметаллические включения, непровар и микротрещины.

Нарушение размеров и формы шва выражается в неполномерности ширины и высоты шва, в чрезмерном усилении и резких переходах от основного металла к наплавленному. Эти дефекты при ручной сварке являются результатом низкой квалификации сварщика, плохой подготовки свариваемых кромок, неправильного выбора сварочного тока, низкого качества сборки под сварку. Дефекты формы шва могут быть и следствием колебаний напряжения в сети. При автоматической сварке нарушения формы и размеров шва являются следствием неправильной разделки шва или нарушения режима в процессе сварки (скорости сварки, скорости подачи электродной проволоки, сварочного тока).

Непровар—местное несплавление свариваемых кромок основного и на-

плавленного металлов—является следствием низкой квалификации сварщика, некачественной подготовки свариваемых кромок (малый угол скоса, отсутствие зазора, большое притупление), смещения электрода к одной из кромок, быстрого перемещения электрода по шву.

Подрез—узкое углубление в основном металле вдоль края сварного шва—образуется при сварке большим током или удлиненной дугой, при завышенной мощности горелки, неправильном положении электрода или горелки и присадочного прутка.

Поверхностное окисление—окисление металла шва и прилегающего к нему основного металла. Причинами являются сильно окисляющая среда, большая длина дуги, чрезмерно большая мощность сварочной горелки или слишком большой сварочный ток, замедленное перемещение электрода или горелки вдоль шва.

Прожог—сквозное отверстие в сварном шве. Основными причинами прожога являются большой сварочный ток, завышенная мощность сварочной горелки, малая толщина основного металла, малое притупление свариваемых кромок и неравномерный зазор между ними по длине.

Наплыв—результат натекания металла шва на непрогретую поверхность основного металла или ранее выполненного валика без сплавления с ним. Такие дефекты могут быть при низкой квалификации сварщика, некачественных электродах и несоответствии скорости сварки и сварочного тока разделке шва.

Поверхностные и внутренние поры возникают вследствие попадания в металл шва газов (водород, азот, углекислый газ и др.), образовавшихся при сварке. Водород образуется из влаги, масла и компонентов покрытия электродов. Азот в металл шва попадает из атмосферного воздуха при недостаточно качественной защите расплавленного металла шва. Оксид углерода образуется в процессе сварки стали при выгорании углерода, содержащегося в металле. Если свариваемая сталь и электроды имеют повышенное содержание углерода, то при недостатке в сварочной ванне раскислителей и при большой скорости сварки оксид углерода не успевает выделиться и остается в металле шва. Таким образом, пористость является результатом плохой подготовки свариваемых кромок (загрязненность, ржавчина, замасленность), применения электродов с сырым покрытием, влажного флюса, недостатка раскислителей, больших скоростей сварки.

Неметаллические включения образуются при сварке малым сварочным током, применении некачественных электродов, сварочной проволоки, флюса, загрязненных кромок и плохой очистке шва от шлака при многослойной сварке. При неправильно выбранном режиме сварки шлаки и оксиды не успевают всплыть на поверхность и остаются в металле шва в виде неметаллических включений.

Трещины наружные и внутренние (микротрещины) являются опасными и недопустимыми дефектами сварных швов. Они образуются вследствие напряжений, возникающих в металле от его неравномерного нагрева, охлаждения и усадки. Высокоуглеродистые и легированные стали после сварки при охлаждении закаляются, в результате чего могут образоваться трещины. Причиной возникновения трещин служит также повышенное содержание в стали вредных примесей (серы и фосфора).

Методы устранения дефектов сварных швов. Неполномерность швов устраняется наплавкой дополнительного слоя металла. При этом наплав-

ляемую поверхность необходимо тщательно очистить до металлического блеска абразивным инструментом или металлической щеткой. Чрезмерное усиление шва устраняют с помощью абразивного инструмента или пневматического зубила.

Непровар, кратеры, поверхностные и внутренние поры и неметаллические включения устраняют вырубкой пневматическим зубилом или расчисткой абразивным инструментом всего дефектного участка с последующей заваркой. Часто применяют выплавку дефектного участка с помощью поверхностной кислородной или воздушно-дуговой резки.

Подрезы заваривают тонкими валиковыми швами. Наплывы устраняют обработкой абразивным инструментом или с помощью пневматического зубила. Наружные трещины устраняют разделкой и последующей заваркой. Для предупреждения распространения трещины по концам ее засверливают отверстия. Разделку трещины выполняют зубилом или резакком. Кромки разделки зачищают от шлака, брызг металла, окалины и заваривают. Швы с внутренними трещинами вырубают и заваривают заново. При наличии сетки трещин дефектный участок вырезают и сваркой накладывают заплату.

§ 63. Виды контроля сварных соединений

Для получения сварного соединения хорошего качества необходимо осуществлять контроль, начиная с проверки качества подготовки шва и кончая проверкой полученного сварного соединения. Качество основного металла, электродной проволоки, присадочного металла, флюса и других материалов проверяют по сертификатам и заводским документам. Маркировка и качество должны соответствовать установленным техническим условиям и технологическому процессу сварки. Сборку под сварку и разделку шва проверяют по стандартам и техническим условиям.

Сварное соединение проверяется внешним осмотром, металлографическими исследованиями, химическим анализом, механическими испытаниями, просвечиванием рентгеновскими и гамма-лучами, магнитными методами и с помощью ультразвука. Предварительно сварное соединение очищают от шлака, окалины и металлических брызг.

Внешним осмотром выявляют наружные дефекты шва. Осмотр производят невооруженным глазом или с помощью лупы с десятикратным увеличением. Размеры сварных швов проверяют шаблонами и мерительным инструментом.

Металлографические исследования заключаются в следующем: сверлят отверстие, проходящее через шов и основной металл. Поверхность отверстия протравливают 10%-ым водным раствором двойной соли хлорной меди и аммония в течение 1...3 мин. Осадок меди удаляют водой. Протравленную поверхность осматривают невооруженным глазом или с помощью лупы. При этом выявляют качество провара и наличие внутренних дефектов. Для ответственных сварных конструкций производят более полные металлографические исследования макро- и микрошлифов из специально сваренных контрольных пластин или из пластин, вырезанных из сварных соединений.

Химическим анализом определяют состав основного и наплавленного металлов и электродов, а также их соответствие установленным техническим условиям на изготовление сварного изделия. Методы отбора проб для химического и спектрального анализа предусмотрены ГОСТ 7122—81.

Механические испытания проводят либо специально сваренных контрольных образцов, либо образцов, вырезанных из сварного соединения. Определяют предел прочности на растяжение, ударную вязкость, твердость и угол загиба.

Рентгенодефектоскопия основана на различном поглощении рентгеновских лучей различными веществами. Этим методом обнаруживают поры,

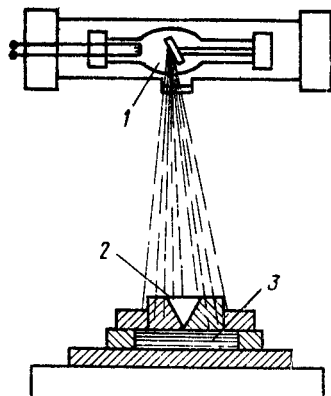


Рис. 117

микротрещины, непровары, неметаллические включения. Рентгеновские лучи направляют на сварной шов, а с обратной стороны прикладывают фотопленку. Дефектные места пропускают лучи с меньшим поглощением, чем сплошной металл. После проявления на пленке хорошо видны очертания дефектов шва.

Рентгеновские лучи—коротковолновое электромагнитное излучение—получают в рентгеновских трубках бомбардировкой быстрыми электронами положительного электрода. К рентгеновской трубке подводится ток высокого постоянного напряжения (10^4 — 10^6 эВ). Следует иметь в виду, что рентгеновские лучи вредны для человеческого организма, поэтому рентгеновская трубка изолируется защитным свинцовым кожухом, в котором имеется узкая щель для выхода лучей, направляемых на контролируемое изделие. Для контроля в монтажных условиях очень удобны малогабаритные отечественные рентгеновские аппараты РУП-120-5-1, ИРА-1Д, ИРА-2Д, РИНА-3Д и др. Толщина металла, которая может контролироваться этими аппаратами,—25...100 мм. Схема просвечивания рентгеновскими лучами показана на рис. 117: 1—рентгеновская трубка, 2—контролируемый шов, 3—кассета с фотопленкой.

Гамма-дефектоскопия также основана на различном поглощении веществами гамма-лучей. Как и при

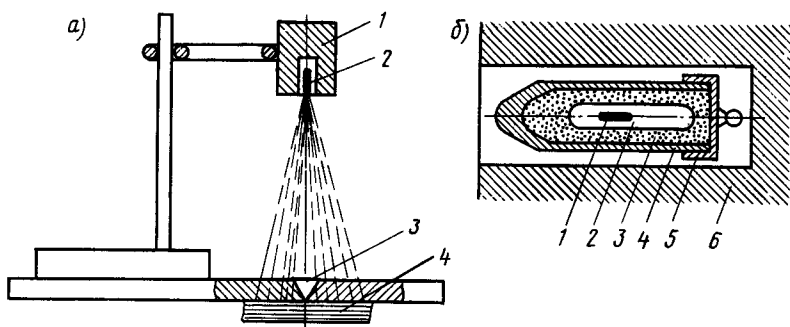


Рис. 118

рентгенодефектоскопии, получают теневой снимок сварного шва. Гамма-лучи получаются при ядерном распаде естественных и искусственных радиоактивных веществ (радия, мезотория, кобальта, цезия, иридия и др.). Наибольшее распространение как более дешевые получили радиоактивные изотопы кобальта ^{60}Co , цезия ^{137}Cs и иридия ^{192}Ir . Гамма-лучи обладают большой проникающей способностью и позволяют контролировать металл толщиной до 350 мм. Гамма-лучи также вредны для человека, поэтому ампула с радиоактивным веществом помещается в переносной свинцовый контейнер или в стационарный аппарат с дистанционным управлением. Контейнер устанавливают против контролируемого участка, а с обратной стороны сварного шва помещают кассету с пленкой. Затем с помощью дистанционного управления выдвигают ампулу из аппарата или открывают щель в контейнере для выхода гамма-лучей. На рис.118,а показана схема просвечивания сварного шва: 1—контейнер, 2—ампула, 3—контролируемый шов, 4—кассета с пленкой; на рис.118,б—схема устройства ампулы с радиоактивным веществом: 1—радиоактивное вещество, 2—стеклянная ампула, 3—вата, 4—латунная или алюминиевая оболочка, 5—крышка, 6—свинцовый футляр. Для гамма-просвечивания применяют аппараты ГУП-Ir-5-2, ГУП-Cs-2-1 и др.

Магнитные методы контроля основаны на исследовании магнитных полей рассеяния на намагниченном кон-

тролируемом изделии. Применяется несколько методов магнитного контроля сварного шва: магнитно-порошковый, магнитографический, индукционный и др.

Метод порошковой дефектоскопии является наиболее простым, но и менее четким. После намагничивания изделия сварной шов опыливают магнитным порошком (изготавливают из железной окалины) или покрывают суспензией (смесь магнитного порошка с керосином, маслом или другими веществами). В зоне дефекта порошок распределяется неравномерно—скапливается у краев пор, трещин; по этим скоплениям определяют расположение дефектов в сварном шве. Для большей наглядности магнитный порошок или суспензию окрашивают в яркие цвета.

Магнитографический контроль сварных швов разработан ВНИИСТ. Он широко применяется при контроле сварных швов магистральных трубопроводов. На сварной шов трубы накладывают ферромагнитную пленку, а затем намагничивают шов соленоидом или дисковым магнитом. В зависимости от вида и величины дефектов шва в соответствующих местах пленки будет та или иная степень намагниченности. Магнитные сигналы преобразуют в звуковые с помощью магнитофона или наблюдают на экране осциллографа. Аппараты для магнитографического контроля с осциллографом позволяют проверять сварные швы со скоростью 0,5... 1 м/мин. Кроме высокой производительности они отличаются большой точ-

ность (не уступающей рентгено- и гамма-дефектоскопии), простотой контроля, дешевизной применяемых материалов, возможностью проверки швов в различных пространственных положениях и безопасностью работы.

Индукционный метод контроля основан на рассеянии магнитного потока датчиком дефектоскопа и последующем наведении электродвижущей силы в индикаторе. Наведенный индукционный ток усиливается и подается на телефон, сигнальную лампу или на магнитоэлектрический прибор. По звуку, отклонению стрелки прибора или зажиганию лампы определяют расположение дефекта. Индукционным контролем производят дефектоскопией МД-138.

Ультразвуковой метод контроля основан на способности ультразвуковых колебаний проникать в толщу металла на значительную глубину и отражаться от неметаллических включений и других дефектных участков шва. Ультразвуковые дефектоскопы работают по следующему принципу. Пластина из кварца или сегнетовой соли под действием переменного электрического поля высокой частоты дает ультразвуковые колебания, которые с помощью щупа направляются на проверяемое сварное соединение. На границе между однородным металлом и дефектом эти волны частично отражаются и воспринимаются второй пластиной. Под действием переменного давления ультразвуковой волны на гранях этой пластинки появляется переменная разность потенциалов, зависящая от интенсивности отраженной волны. Электрические колебания от граней пластинки усиливаются и направляются в осциллограф. На экране осциллографа одновременно изображаются импульсы излучаемой и отражаемой волн. По относительному расположению этих импульсов и по интенсивности отраженного импульса можно судить о местонахождении и характере дефекта в сварном шве. В настоящее время выпускают ультразвуковые дефектоскопы, работающие на одной пластинке, которая подает короткими импульсами ультразвуко-

вые волны на контролируемый шов. Отраженные волны воспринимаются этой же пластинкой в промежутки времени между импульсами излучения. При этом получается высокая четкость излучаемых и отраженных ультразвуковых волн. Ультразвуковой метод контроля позволяет обнаружить все основные дефекты сварных швов. Кроме того, ультразвуковые дефектоскопы УЗД-7н имеют приспособления для настройки на заданную толщину шва и для определения глубины расположения обнаруженного дефекта. Недостатками ультразвукового контроля являются трудность определения характера дефекта и проверки швов толщиной менее 10 мм.

Испытание сварных швов емкостей на герметичность проводят различными методами.

Испытание керосином: емкости, работающие без избыточного давления, с внутренней стороны обильно смачивают керосином; сварные швы с внешней стороны покрывают меловым водным раствором. При наличии даже мельчайших пор, трещин или неплотностей керосин просачивается через них и на покрытой мелом поверхности появляются керосиновые пятна.

Испытание сжатым воздухом проводят нагнетанием в испытываемый резервуар сжатого воздуха до давления, указанного в технических условиях на изготовление резервуара. Швы покрывают мыльной эмульсией; при наличии дефектов появляются мыльные пузырьки. Если габариты позволяют погрузить испытываемый резервуар в ванну с водой, тогда дефекты определяют по пузырькам воздуха. Трубопроводы и большие резервуары испытывают сжатым воздухом на величину потери давления за время, установленное техническими условиями.

Вакуум-аппаратом контролируют сварные швы, имеющие односторонний доступ, когда невозможно использовать керосин, воздух или воду. Аппарат состоит из камеры с вакуумметром и насоса. Контролируемый сварной шов покрывают мыльной эмуль-

сий, на нее устанавливают камеру и включают насос, который создает в камере вакуум, в результате камера присасывается к испытуемой поверхности. Для герметичности камера имеет в торце мягкую резиновую прокладку. Если шов имеет дефекты (поры, трещины, неплотности), то появляются мыльные пузырьки, которые наблюдаются через стекло камеры.

Испытание аммиаком проводят нагнетанием в испытываемый резервуар воздуха до рабочего давления или давления, указанного в технических условиях на изготовление изделия. Затем добавляют 1% аммиака от объема воздуха в резервуаре при нормальном давлении. Контролируемые сварные швы обертывают бумагой, пропитанной 5%-ным водным раствором азотнокислой ртути. При наличии неплотностей (поры, трещины и др.) аммиак проходит через них и, взаимодействуя с азотнокислой ртутью, дает на бумаге черные пятна.

Гидравлическое испытание проводят с целью проверки не только плотности швов, но и их прочности. Такому испытанию подвергают сварные трубопроводы, сосуды и резервуары для газа или жидкости, работающие

под давлением. Для этой цели все отверстия изделия плотно закрывают заглушками и заполняют его водой. С помощью гидравлического пресса создают давление, в 1,5 раза превышающее рабочее давление, и выдерживают в течение времени, указанного в технических условиях на изготовление изделия. Затем снижают давление до рабочего значения и проверяют наличие потения и пропусков воды в швах. При этом изделие обстукивают молотком на расстоянии 20 мм от сварного шва. Вертикальные цилиндрические резервуары обстукивать при испытании водой не разрешается.

Для контроля сварных соединений магистральных трубопроводов используют передвижную лабораторию РМЛ2В, смонтированную на автомашине. Оборудование состоит из рентгеновской установки, позволяющей просвечивать стыки трубопроводов диаметром 720...1420 мм, гамма-дефектоскопа и установки для магнитографического контроля. За смену лаборатория проверяет гамма-просвечиванием 6 стыков, рентгеновским просвечиванием 12 и магнитографическим контролем 20 стыков. Масса лаборатории — 5 т.

ГЛАВА 23

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

§ 64. Основные положения техники безопасности при электрической сварке

При электросварочных работах возможны следующие виды производственного травматизма: поражение электрическим током, поражение глаз и открытой поверхности кожи излучением электрической дуги, ожоги от капель металла и шлака, отравление вредными газами, пылью и испарениями, выделяющимися при сварке; ушибы и ранения от взрывов баллонов сжатого газа и при сварке сосудов из-под горючих веществ.

Защита от поражения электрическим током. При исправном состоянии оборудования и правильном выполне-

нии сварочных работ возможность поражения током исключается. Однако в практике возможны поражения электрическим током вследствие неисправности сварочного оборудования или сети заземления, неправильного подключения сварочного оборудования к сети, неисправности электропроводки и неправильного ведения сварочных работ. Поражение от электрического тока происходит при прикосновении к токонесущим частям электропроводки и сварочной аппаратуры.

Напряжение холостого хода источников питания дуги достигает 90 В, а при плазменно-дуговой резке — 200 В. Учитывая, что сопротивление человеческого организма в зависимости от его состояния (утомленность, состояние здоровья, влажность кожи) мо-

жет изменяться в широких пределах (от 1000 до 20 000 Ом), указанные выше напряжения являются очень опасными для жизни. Токи более 0,05 А могут вызвать тяжелые последствия и даже смерть.

Опасность поражения сварщика и подсобных рабочих током особенно велика при сварке крупногабаритных резервуаров, во время работы внутри емкостей лежа или полулежа на металлических частях свариваемого изделия или при выполнении наружных работ в сырую погоду, в сырых помещениях, котлованах, колодцах и др.

Во избежание поражения электрическим током необходимо соблюдать следующие условия:

Корпуса источников питания дуги, сварочного вспомогательного оборудования и свариваемые изделия должны быть надежно заземлены. Заземление осуществляют медным проводом, один конец которого закрепляют к корпусу источника питания дуги к специальному болту с надписью «Земля», а второй конец присоединяют либо к общей заземляющей шине, либо к металлическому штырю, вбитому в землю.

Заземление передвижных источников питания производят до включения их в силовую сеть, а снятие заземления — только после отключения от силовой сети.

Для подключения источников сварочного тока к сети должны использоваться настенные ящики с рубильниками, предохранителями и зажимами. Длина проводов сетевого питания не должна быть более 10 м. При необходимости нарастить провод применяют соединительную муфту с прочной изоляционной массой или провод с электроизоляционной оболочкой. Провод подвешивают на высоте 2,5... 3,5 м. Спуски заключают в заземленные металлические трубы. Вводы и выходы должны иметь втулки или воронки, предохраняющие провода от перегибов, а изоляцию — от порчи.

При наружных работах сварочное оборудование должно находиться под навесом для защиты от дождя и сне-

га. Без соблюдения этих условий сварочные работы не допускаются, а сварочную аппаратуру укрывают от воздействия влаги.

Присоединять и отсоединять от сети электросварочное оборудование, а также наблюдать за их исправным состоянием в процессе эксплуатации обязаны электрики. Сварщикам запрещается выполнять эти работы.

Все сварочные провода должны иметь исправную изоляцию и соответствовать применяемому току. Применение проводов с ветхой и растрепанной изоляцией категорически запрещается.

При сварке внутренних швов резервуаров, котлов, труб и других закрытых и сложных конструкций необходимо пользоваться резиновым ковриком, резиновым шлемом и галошами. Для освещения следует пользоваться переносной лампой напряжением 12 В. Все электросварочное оборудование должно быть оснащено устройствами (АСТ-500, АСН-1, АСН-30) автоматического отключения напряжения холостого хода или его ограничения до безопасного значения. При работах внутри резервуара или при сварке сложной металлической конструкции, а также при сварке емкостей из-под горючих и легко воспламеняющихся жидкостей к сварщику назначается дежурный наблюдатель, который обязан обеспечить безопасность работ и при необходимости оказать первую помощь.

При поражении электрическим током необходимо пострадавшему оказать помощь: освободить его от электропроводов, обеспечить доступ свежего воздуха и, если пострадавший потерял сознание, немедленно вызвать скорую медицинскую помощь. При необходимости, до прибытия врача, производить искусственное дыхание.

Защита глаз и открытой поверхности кожи от излучения электрической дуги. Горение сварочной дуги сопровождается излучением видимых световых лучей и невидимых ультрафиолетовых и инфракрасных. Яркость световых лучей значительно превышает норму, допускаемую для человеческо-

го глаза, и поэтому, если смотреть на дугу невооруженным глазом, то она производит ослепляющее действие. Ультрафиолетовые лучи при действии даже в течение нескольких секунд вызывают заболевание глаз, называемое электрофтальмией. Оно сопровождается острой болью, резью в глазах, слезотечением, спазмами век. Более продолжительное облучение ультрафиолетовыми лучами вызывает ожоги кожи. Инфракрасные лучи при длительном воздействии вызывают помутнение хрусталиков глаза (катаракту), а также ожоги кожи лица.

Для защиты глаз и кожи лица от световых и невидимых лучей дуги сварщики и их подручные должны закрывать лицо щитком, маской или шлемом (см. § 8). Для защиты окружающих лиц от излучения дуги в цехах устанавливают закрытые сварочные кабины, а при строительных и монтажных работах применяют переносные щиты или ширмы.

Спецодежда и правила пользования ею для защиты от брызг металла и шлака изложены в § 8. Следует отметить, что при сварке поточных, горизонтальных и вертикальных швов необходимо надевать брезентовые нарукавники и плотно завязывать их поверх рукавов кистей рук. Зачищать сваренные швы от шлака и флюса следует лишь после полного их остывания и обязательно в очках с простыми стеклами.

Защита от отравлений вредными газами, пылью и испарениями. Особенное загрязнение воздуха вызывает сварка электродами с качественными покрытиями. При автоматической сварке количество газов и пыли значительно меньше, чем при ручной. Сварочная пыль представляет собой аэрозоль — взвесь частиц оксидов металлов и минералов в газовой среде. Основными составляющими являются оксиды железа (до 70%), марганца, кремния, хрома, фтористые и другие соединения. Наиболее вредны соединения хрома, марганца и фтора. Воздух в рабочих помещениях при сварке загрязняется также токсичными газами: оксидами азота, углерода,

фтористым водородом и др. На рабочем месте допускаются следующие предельные концентрации веществ в воздухе (в мг/м³): марганец и его соединения—0,3; хром и его соединения—0,1; свинец и его соединения—0,01; цинковые соединения—5,0; оксид углерода—20,0; фтористый водород—0,5; оксид азота—5,0; бензин, керосин—300,0.

Концентрация нетоксичной пыли более 10 мг/м³ не допускается. Однако если содержание кварца в пыли превышает 10%, то концентрация нетоксичной пыли допускается только до 2 мг/м³.

Удаление вредных газов и пыли из зоны сварки, а также подача чистого воздуха осуществляются местной и общей вентиляцией. Местная вытяжная вентиляция с верхним, боковым или нижним отсосом удаляет газы и пыль непосредственно из зоны сварки. Общая вентиляция должна быть приточно-вытяжной. В зимнее время приточный воздух нагревают до 20...22°C с помощью калорифера.

При сварке в замкнутых емкостях необходимо подавать свежий воздух по шлангу непосредственно в зону работы сварщика. Объем подаваемого свежего воздуха должен быть не менее 30 м³/ч. Без вентиляции сварка в замкнутых емкостях не разрешается.

Вентиляционные устройства должны обеспечивать воздухообмен при ручной дуговой сварке электродами с качественными покрытиями от 4000 до 6000 м³ на 1 кг расхода электродов, при автоматической сварке под флюсом — около 200 м³ на 1 кг расплавляемой проволоки, а при сварке в углекислом газе — до 1000 м³ на 1 кг расплавляемой проволоки. Если часовой расход электродов менее 0,2 кг на 1 м³ объема помещения и если концентрация сварочной пыли менее предельно допустимой, разрешается пользоваться лишь естественной вентиляцией.

Предотвращение опасности взрывов. Взрывы возможны при неправильной транспортировке, хранении и использовании баллонов со сжа-

тыми газами, при сварочных работах в различных емкостях без предварительной тщательной очистки их от остатков горючих веществ.

Баллоны транспортируют с на-вернутыми предохранительными колпаками на подрессоренном транспорте. При этом толчки и удары недопустимы. Нельзя устанавливать баллоны вблизи нагревательных приборов или под солнечными лучами. На рабочем месте баллоны должны быть надежно укреплены в вертикальном положении, так чтобы исключалась всякая возможность ударов и падений. Категорически запрещается отогревать влагу в редукторе баллона с углекислотой и любых баллонов со сжатым газом открытым пламенем, так как это ведет к взрыву баллона. Отогревать можно только тряпками, смоченными горячей водой.

Емкости из-под нефтепродуктов перед сваркой необходимо 2—3 раза промыть горячим 10%-ным раствором щелочи и продуть паром или воздухом для удаления запаха. Ремонт газопроводов сваркой также производится только после тщательной продувки.

Меры безопасности при работе на машинах контактной сварки.

1. К работе на контактных машинах допускаются только после изучения их конструкции и технологии сварки, а также сдачи экзамена по правилам техники безопасности при электросварочных работах.

2. Корпуса контактных машин должны быть надежно заземлены подключением к общей сети заземления. Следует иметь в виду, что машины подключаются к сети с напряжением 220, 380 и 500 В, опасным для жизни. Сварочная цепь всегда соединена с корпусом машины и поэтому при отсутствии заземления и нарушении изоляции в первичной цепи сварочного трансформатора возникает опасность поражения током.

3. Подводящие провода должны быть хорошо защищены от повреждений. Для этого проводку ведут в металлических трубах или используют бронированный кабель. Трубы

и броневая защита кабеля подлежат надежному заземлению.

4. Шланги и арматура, подводящие воду или охлаждающую жидкость, должны быть исправны.

5. При каждом переключении ступеней трансформатора нужно обязательно отключать сварочную машину от сети.

6. Работающие на контактной машине должны надевать очки с простыми стеклами и головной убор. При работе на стыковой машине необходима брезентовая спецодежда.

7. Рабочее место должно быть оборудовано отсасывающей вентиляцией, особенно при сварке цветных металлов (оцинкованные, оловянистые листы, луженая жечь и др.).

§ 65. Техника безопасности при газовой сварке и кислородной резке

Техника безопасности при обращении с газосварочным оборудованием заключается в выполнении следующих требований:

1. Запрещается устанавливать оборудование и производить сварочные работы вблизи огнеопасных материалов. Подвижные ацетиленовые генераторы должны устанавливаться не ближе 10 м от очагов огня. Во время работы запрещается оставлять генератор без надзора.

2. Сварка внутри резервуаров, котлов, цистерн должна производиться с перерывами при непрерывной вентиляции и низковольтном освещении в присутствии наблюдающего. Перед производством работ необходимо убедиться в отсутствии в указанных емкостях взрывоопасных смесей.

3. Карбид кальция необходимо хранить только в герметически закрытых барабанах в сухих и хорошо проветриваемых помещениях. Вскрывать барабаны разрешается только специальным ножом, при этом крышку на участке резания покрывают маслом (можно просверлить отверстие, а затем сделать вырез ножницами). Запрещается пользоваться стальным зубилом и молотком. Эти меры предупреждают образование искр,

опасных для ацетилено-воздушных смесей. Опасно применять также медные инструменты, так как при наличии влаги ацетилен образует с медью ацетиленовую медь, которая легко взрывается от незначительных ударов.

4. Ацетиленовые генераторы должны быть установлены строго вертикально и заправлены водой до установленного уровня. Разрешается применять карбид кальция только той грануляции, которая установлена паспортом генератора. После загрузки карбида следует произвести продувку генератора от остатков воздуха. При работе на открытом воздухе и при низких температурах следует пользоваться ватным чехлом. Во избежание замерзания генератора после прекращения работ воду необходимо слить. Отогревать замерзший генератор открытым пламенем категорически запрещается. Отогревать его можно только паром или ветошью, смоченной горячей водой. Ил следует выгружать только после полного разложения данной порции карбида и только в иловые ямы с надписью о запрещении курения и взрывоопасности.

Важным условием безопасности работы генератора являются наличие, исправность и заправленность водяного затвора. При температуре воздуха ниже 0°C затворы заправляются незамерзающей смесью. Перед началом работы необходимо обязательно проверить уровень воды или низкотемпературной смеси в затворе через его контрольный кран.

5. Баллоны допускаются к эксплуатации только исправные, прошедшие освидетельствование. Их хранят закрепленными в вертикальном положении в помещениях или на открытом воздухе, но обязательно закрытыми от воздействия солнечных лучей. Перевозка баллонов допускается при накрученных предохранительных колпаках на подрессоренном транспорте или на специальных носилках. Для укладки баллонов пользуются деревянными подкладками с гнездами, обитыми войлоком или другим мягким

материалом. Совместная транспортировка ацетиленовых и кислородных баллонов запрещена.

При эксплуатации баллон закрепляют хомутиком в вертикальном положении на расстоянии не менее 5 м от рабочего места. Перед началом работы необходимо продуть выходное отверстие баллона. Расходовать газ следует до остаточного давления кислорода не менее 0,05 МПа, а ацетилена 0,05...0,1 МПа. После окончания работ необходимо плотно закрыть вентиль баллона, выпустить газ из редуктора и шлангов, снять редуктор, надеть заглушку на штуцер и повернуть на вентиль колпак.

Необходимо своевременно проводить освидетельствование баллонов в установленные сроки (для баллонов — 5 лет, а для пористой массы ацетиленовых баллонов — 1 год).

6. Редукторы применяются только с исправными манометрами. Кислородные редукторы должны предохраняться от попадания масел и жиров. Установка редуктора на баллон производится с осторожностью, чтобы не повредить резьбу; крепление должно быть плотным. Подача кислорода в редуктор производится при полностью ослабленной регулировочной пружине редуктора. Вентиль открывают медленно и следят, чтобы не было утечки газа. При обнаружении неисправности следует вентиль баллона закрыть и устранить неисправности редуктора или соединений.

7. Газоподводящие шланги крепят на ниппелях стяжными хомутиками; крепление должно быть надежным и герметичным. Исправность газопроводов и шлангов подлежит постоянному контролю.

§ 66. Техника безопасности при контрольных испытаниях сварных швов

Из применяемых средств контроля особую опасность представляют рентгеновские и гамма-лучи. Рентгеновские и гамма-лучи опасны для человека при продолжительном облучении и большой дозе. Предельно до-

поступающая доза, которая не вызывает необратимых изменений в организме даже при продолжительном воздействии, равна $0,44 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг (0,017 рентгена).

Меры безопасности, снижающие дозу облучения на рабочем месте: введение промежуточной защитной среды между препаратом и обслуживающим персоналом, сокращение продолжительности работы и дистанционное управление. Радиоактивные источники устанавливают в специальные контейнеры, а рентгеновские трубки помещают в защитные кожухи. Материалом для защитной среды служит свинец. Применяются также баритобетон, бетон, свинцовое стекло и др.

Лаборатории, использующие рентгено- и гамма-дефектоскопы для контроля сварных соединений, должны иметь приборы, измеряющие интенсивность рентгеновских и гамма-лучей. Для общего контроля применяют дозиметр с ионизационной камерой ДКЗ, для индивидуального контроля — карманные дозиметры. Кроме контроля облучения обслуживающий персонал лаборатории периодически проходит медицинское обследование.

Площадь рентгеновской лаборатории должна быть не менее 20 м^2 при высоте помещения не менее 3 м. Лаборатория по просвечиванию гамма-лучами должна иметь площадь не менее 24 м^2 при минимально допустимой высоте 3,5 м. Стены, потолок и пол лаборатории должны быть покрыты материалом, поглощающим излучение. Толщина слоя выбирается в зависимости от материала: для свинца — более 5 мм, для баритобетона — 345 мм, для кирпича — 435 мм. Помещение должно быть сухим и светлым. Приточно-вытяжная вентиляция должна обеспечивать десятикратный обмен воздуха.

§ 67. Техника безопасности на строительно-монтажной площадке

Выполнение сварочных работ на строительно-монтажной площадке требует особо четкого выполнения всех правил безопасности производ-

ства работ. Сварочные работы на высоте с лесов, подмостей и люлек разрешается производить только после проверки этих устройств руководителем работ. Леса и подмости должны быть сплошными шириной не менее 1 м с прочными ограждениями. Допускаются кратковременные работы с приставных лестниц при условии, если их верхние концы надежно закреплены к неподвижным конструкциям и исключена возможность смещения опор или случайного сдвига лестницы. При производстве работ одновременно в нескольких ярусах необходимо предусмотреть сплошные настилы или навесы для защиты работающих внизу от искр и капель расплавленного металла и шлака. При этом сварщик должен иметь сумку для электродов, куда обязан укладывать огарки. При работе на высоте он обязан работать в фибролитовой каске и брезентовых наплечниках, пользоваться исправным предохранительным поясом и прикрепляться им к прочным и неподвижным конструкциям.

К выполнению работ по сварке и резке на высоте допускаются только рабочие, прошедшие дополнительный медицинский осмотр и специальное обучение методам верхолазных работ. При гололедице или ветре более 6 баллов выполнять сварку и резку на высоте не разрешается.

В зимнее время при температуре ниже -30°C работы по сварке и резке не разрешаются. При температуре ниже -20°C обеспечиваются условия для обогрева рабочих в непосредственной близости от места работы в течение 10 мин через каждый час работы. Рабочие должны быть одеты в ватные костюмы и валенки. Для защиты от контакта с влажной холодной землей и снегом, а также с холодным металлом конструкций сварщики должны обеспечиваться резиновыми ковриками, подстилками, матами, наколенниками и подлокотниками. Необходимо предусмотреть навесы, защищающие рабочее место от осадков.

Особого внимания требует закрепление прокладываемых сварочных проводов и шлангов, подающих газ к рабочим местам, и защита их от повреждений и случайных смещений. Соприкосновение проводов с водой, маслом, стальными канатами и горячими трубопроводами недопустимо. В качестве дополнительных мер защиты применяется обмотка проводов брезентовой лентой.

Противопожарные мероприятия. При выполнении сварочных работ необходимо строго соблюдать правила пожарной безопасности. За обеспечение противопожарных мероприятий ответственность несет начальник цеха, участка.

Рабочее место сварщика должно быть оборудовано огнетушителем, бочками или ведрами с водой, ящиком с песком и лопатой и другим противопожарным инвентарем. К выполнению сварочных работ допускаются рабочие, прошедшие инструктаж по пожарной безопасности и умеющие пользоваться средствами пожаротушения.

Опасность пожара особенно следует учитывать на строительно-монтажной площадке. Если сварочные работы проводятся на высоте, то необходимо находящиеся внизу аппаратуру и воспламеняющиеся материалы защитить от искр и ка-

пель расплавленного металла и шлака. Необходима особая осторожность при выполнении сварочных работ вблизи деревянных лесов, стружки, опилок и других горючих материалов.

Места проведения сварочных работ должны быть тщательно очищены от легковоспламеняющихся и взрывоопасных материалов на расстоянии 30 м. Если сварочные работы намечаются к выполнению на огнеопасных участках, следует обязательно предусмотреть противопожарные посты. Деревянные полы, настилы при необходимости защищают от искр и капель расплавленного металла и шлака листами асбеста или железа.

Категорически запрещается перемещаться с зажженной горелкой вне пределов рабочего места и особенно по трапам, лесам. После окончания работ сварщик обязан тщательно осмотреть рабочее место и устранить причины, могущие привести к возникновению пожара. Наличие и исправность противопожарного оборудования подлежат постоянному контролю.

Основные требования пожарной безопасности изложены в «Правилах пожарной безопасности при проведении сварочных и других огневых работ на объектах народного хозяйства», утвержденных ГУПО СССР 29 декабря 1972 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алов А. А. Основы теории процессов сварки и пайки. М., 1964.
- Бельфор М. Г., Патон Б. Е. Оборудование для дуговой и шлаковой сварки и наплавки. М., 1974.
- Бродский А. Я. Сварка арматуры железобетонных конструкций. М., 1961.
- Васильев К. В. Плазменно-дуговая резка. М., 1974.
- Гельман А. С. Технология и оборудование контактной сварки. М., 1960.
- Гузов С. Г., Стрижевский И. И. Техника безопасности при газопламенной обработке металлов. М., 1962.
- Кочергин К. А. Сварка давлением. Л., 1972.
- Ножовилов Н. М. Основы металлургии дуговой сварки в активных защитных газах. М., 1972.
- Патон Б. Е., Лебедев В. К. Электрооборудование для контактной сварки. М., 1969.
- Справочник по сварке/Под ред. А. И. Акулова. М., 1971.
- Справочник по сварке/Под ред. Е. В. Соколова, т. 1 и 2. М., 1961.
- Справочник сварщика /Под ред. В. В. Степанова. М., 1982.
- Теоретические основы сварки /Под ред. В. В. Фролова. М., 1970.
- Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением: Сборник/Под ред. Б. Е. Патона. М., 1974.
- Прох Л. Ц., Шпаков Б. М., Яворская Н. М. Справочник по сварочному оборудованию. Киев, 1983.
- Тростянская Е. Б., Комаров Г. В., Шишкин В. А. Сварка пластмасс. М., 1967.
- Хренов К. К. Сварка, резка и пайка металлов. М., 1973.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Раздел 1. Электрическая сварка плавлением и дуговая резка	7
<i>Глава 1. Классификация и сущность дуговой сварки</i>	<i>7</i>
<i>Глава 2. Электрическая сварочная дуга</i>	<i>8</i>
§ 1. Основные понятия	8
§ 2. Тепловые свойства сварочной дуги	13
§ 3. Плавление и перенос металла в дуге	14
<i>Глава 3. Источники питания сварочной дуги</i>	<i>16</i>
§ 4. Основные требования	16
§ 5. Сварочные преобразователи	17
§ 6. Сварочные аппараты переменного тока	24
§ 7. Сварочные выпрямители	31
§ 8. Монтаж и обслуживание сварочного оборудования	32
<i>Глава 4. Металлургические процессы при сварке</i>	<i>38</i>
§ 9. Понятие о свариваемости	38
§ 10. Основные реакции в зоне сварки	
§ 11. Кристаллизация металла сварочной ванны	42
<i>Глава 5. Сварочная проволока и электроды</i>	<i>44</i>
§ 12. Сварочная проволока	44
§ 13. Металлические электроды	47
<i>Глава 6. Технология ручной дуговой сварки</i>	<i>51</i>
§ 14. Сварные соединения и швы	51
§ 15. Выбор режима сварки и техника выполнения швов	53
§ 16. Высокопроизводительные способы сварки	57
§ 17. Деформации и напряжения при сварке	59
<i>Глава 7. Автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом</i>	<i>61</i>
§ 18. Сущность и преимущества	61
§ 19. Сварочные флюсы	
§ 20. Оборудование для сварки под флюсом	65
§ 21. Технология сварки	73
§ 22. Электрошлаковая сварка	77

<i>Глава 8. Сварка в защитном газе</i>	<i>79</i>
§ 23. Сущность и преимущества	79
§ 24. Защитные газы	80
§ 25. Оборудование для сварки в защитном газе	81
§ 26. Технология аргонодуговой сварки	85
§ 27. Технология дуговой сварки в углекислом газе	87
<i>Глава 9. Дуговая резка</i>	<i>89</i>
§ 28. Способы резки плавящимся электродом	89
§ 29. Способы резки неплавящимся электродом	89
Раздел II. Газовая сварка и кислородная резка	92
<i>Глава 10. Газовая сварка</i>	<i>92</i>
§ 30. Оборудование газосварочных постов	92
§ 31. Сварочные горелки	97
<i>Глава 11. Сварочное пламя</i>	<i>98</i>
§ 32. Газы для сварки и резки металлов	
§ 33. Сварочное пламя	100
<i>Глава 12. Технология газовой сварки</i>	<i>101</i>
§ 34. Техника выполнения газовой сварки	101
§ 35. Технология газовой сварки	103
<i>Глава 13. Кислородная резка</i>	<i>105</i>
§ 36. Сущность процесса кислородной резки	105
§ 37. Оборудование для кислородной резки	106
§ 38. Технология кислородной резки	107
Раздел III. Контактная сварка	111
<i>Глава 14. Технология контактной сварки</i>	<i>111</i>
§ 39. Сущность контактной сварки	111
§ 40. Стыковая контактная сварка	112
§ 41. Точечная контактная сварка	114
§ 42. Шовная контактная сварка	115
<i>Глава 15. Оборудование для контактной сварки</i>	<i>117</i>
§ 43. Машины для стыковой контактной сварки	117
§ 44. Машины для точечной контактной сварки	119
§ 45. Машины для шовной контактной сварки	122

Раздел IV. Особенности технологии сварки различных материалов. Наплавочные работы. Сварка трубопроводов	124
<i>Глава 16. Сварка легированных сталей</i>	<i>124</i>
§ 46. Свариваемость легированных сталей	124
§ 47. Сварка низколегированных сталей	125
§ 48. Сварка средне- и высоколегированных сталей	126
<i>Глава 17. Сварка цветных металлов и их сплавов</i>	<i>129</i>
§ 49. Особенности сварки цветных металлов и их сплавов	129
§ 50. Сварка меди и ее сплавов	129
§ 51. Сварка алюминия и его сплавов	132
<i>Глава 18. Сварка чугуна</i>	<i>134</i>
§ 52. Особенности сварки чугуна	134
§ 53. Горячая сварка чугуна	135
§ 54. Холодная сварка чугуна	137
<i>Глава 19. Наплавочные работы</i>	<i>140</i>
§ 55. Виды наплавочных работ	140
§ 56. Технология наплавки	142
<i>Глава 20. Сварка полимеров и пластмасс</i>	<i>143</i>
§ 57. Основные виды полимеров и пластмасс	143
§ 58. Способы сварки	145
<i>Глава 21. Сварка трубопроводов</i>	<i>148</i>
§ 59. Номенклатура и сортамент труб и фасонных частей	148
§ 60. Подготовка труб к сварке	149
§ 61. Способы и режимы сварки	150
Раздел V. Контроль качества сварки. Техника безопасности	155
<i>Глава 22. Контроль качества сварки</i>	<i>155</i>
§ 62. Основные дефекты сварных швов	155
§ 63. Виды контроля сварных соединений	156
<i>Глава 23. Техника безопасности</i>	<i>160</i>
§ 64. Основные положения техники безопасности при электрической сварке	160
§ 65. Техника безопасности при газовой сварке и кислородной резке	163
§ 66. Техника безопасности при контрольных испытаниях сварных швов	164
§ 67. Техника безопасности на строительном-монтажной площадке	165
Список литературы	166